



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

DIFERENCIÁLY AUTOMOBILŮ

CAR DIFFERENTIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Štěpán Čapek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc.

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Štěpán Čapek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Diferenciály automobilů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obsahem práce je komplexní studium problematiky automobilových diferenciálů s cílem zvýšit informovanost aktivní laické veřejnosti.

Cíle bakalářské práce:

Ucelený přehled problematiky automobilových diferenciálů se zvláštním zřetelem k diferenciálům aktivním, včetně vlastního kritického zhodnocení používaných koncepcí.

Seznam doporučené literatury:

JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ, Bronislav a ČUPERA Jiří. Automobily 2., Převody, Brno, Avid, 2009, ISBN 978-80-87143-12-4.

ACHTENOVÁ, Gabriela, TŮMA, Vlastislav. Vozidla s pohonem všech kol. 1. vyd. Praha, 2009, BEN – technická literatura, 380 s., ISBN 978-80-7300-236-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Technická řešení diferenciálů automobilu. Popis převodového ústrojí a typů diferenciálů s jejich zhodnocením. Následují aktivní systémy a aktivními diferenciály, kde je vysvětlena jejich funkce a výhody či nevýhody jejich použití jednotlivými automobilkami.

KLÍČOVÁ SLOVA

Převodové ústrojí, rozvodovka, diferenciál, otevřený diferenciál, samosvorný diferenciál, aktivní diferenciál, torsen, torque vectoring, VAQ, Twinster, Haldex 4MOTION, Quattro, xDRIVE, E-four, e-Quattro

ABSTRACT

Technical solutions of car differentials. Description of the vehicle transmission system and types of differentials with their evaluation. Following active systems and active differentials with explanation of their function and summary of advantages and disadvantages of their application and use by individual car manufacturers.

KEYWORDS

Vehicle transmission system, transfer case, differential, open differential, self-locking differential, active differential, torsen, torque vectoring, VAQ, Twinster, Haldex, 4MOTION, Quattro, xDRIVE, E-four, e-Quattro

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČAPEK, Štěpán. *Diferenciály automobilů*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133175>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 47 s. Vedoucí práce Zdeněk Kaplan.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Zdeněk kaplan, CSc. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 18. května 2021

.....

Štěpán Čapek

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Zdeňku Kaplanovi, CSc. za trpělivost a cenné rady, které mi při tvorbě práce poskytl. Také bych chtěl poděkovat mé rodině, která mě ve studiu velmi podporuje a dodává potřebnou energii.

OBSAH

Úvod	10
1 Převodové ústrojí automobilu	11
1.1 Spojky	11
1.2 Převodovky	13
1.3 Rozvodovka	15
1.3.1 Stálý převod	15
2 Diferenciály	16
2.1 Otevřený diferenciál	18
2.1.1 Kuželový diferenciál	18
2.1.2 Čelní diferenciál	19
2.2 Závěr diferenciálu	20
2.3 Samosvorné diferenciály	21
2.3.1 diferenciály s třecími lamelovými spojkami	21
2.3.2 Diferenciály Torsen	23
3 Aktivní systémy diferenciálů	25
3.1 Aktivní systémy přibrzdňování kol	26
3.2 Pohon jedné nápravy	28
3.2.1 VAQ	29
3.2.2 BMW M-diferenciál	30
3.2.3 Audi sport diferenciál	30
3.3 Systémy pohonu všech kol s odpojitelnou nápravou	31
3.3.1 Mezinápravová spojka Haldex 5. generace	31
3.3.2 Volkswagen 4MOTION	33
3.3.3 BMW xDrive	34
3.3.4 Quattro ultra	35
3.3.5 Technologie Twinster	36
3.4 Systém se stálým pohonem všech kol	37
3.4.1 Audi Quattro	37
3.4.2 4MOTION	38
3.5 Systémy s elektromotorem poháněnou nápravou	39
3.5.1 Toyota E-four	39
3.5.2 Audi e-Quattro	40
Závěr	42
Seznam použitých zkratk a symbolů	47

Úvod

V dnešní době jsou řidiči automobilů náročnější než kdy dříve. Od automobilu chtějí, aby byl maximálně úsporný, dostatečně prostorný, a zároveň měl výkon a agilitu sportovního vozidla. Tyto požadavky jdou ale jen těžko uspokojit pouze jedním typem vozidla. Proto se konstruktéři automobilek snaží najít vždy optimální řešení, a udělat tak vozidlo maximálně univerzální. Poměrně často se ale stává, že s konvenčními typy pohonného ústrojí, jehož součástí jsou mimo jiné otevřené diferenciály, konstruktéři narazí na problém nedostatečné trakce. Pokud vozidlo ztratí trakci například v zatáčce, může to pro nezkušeného řidiče skončit nehodou.

Právě kvůli zvýšení aktivní bezpečnosti vozidel, zlepšení jízdních vlastností, a v neposlední řadě snížení produkovaných emisí, se vymýšlí nová technická řešení přerozdělování momentu mezi kola.

S každým novým modelem, který automobilka vydá, se nejvíce mluví o výkonu motoru, typu převodovky, nebo objemu zavazadlového prostoru. Způsob, jakým se výkon motoru přenáší na vozovku, se odbude v nejlepším případě názvem systému pohonu všech kol. Chtěl bych proto vytvořit ucelený přehled jednotlivých řešení, která se v současné době nejvíce používají.

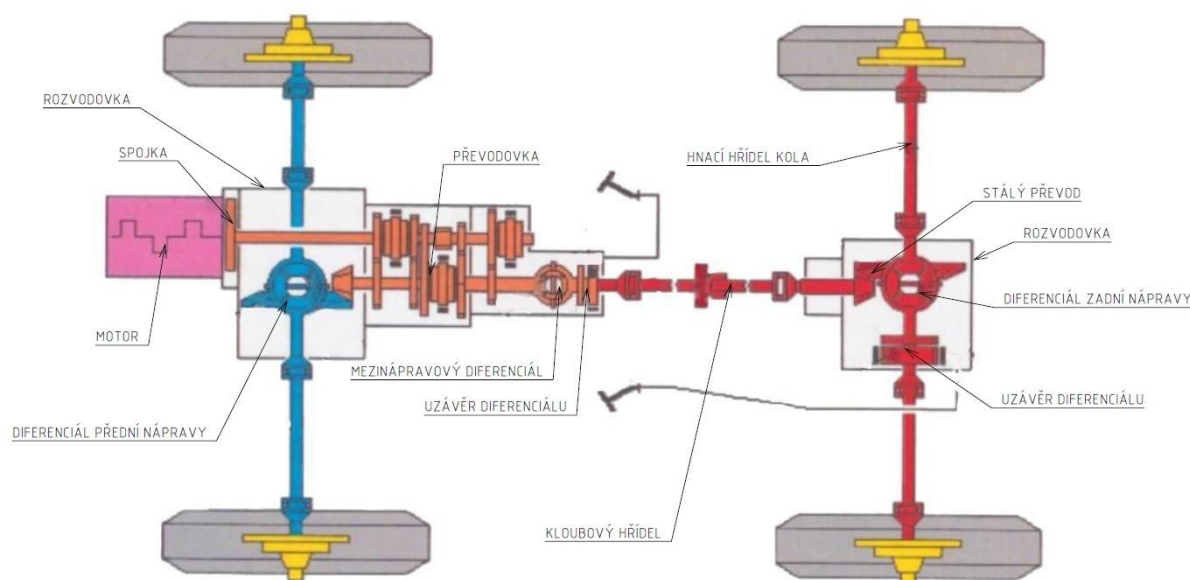
Pro téma jsem se rozhodl kvůli tomu, že se o něm téměř nikde nepíše. Ve své práci krátce představím jednotlivé typy diferenciálů s tím cílem, aby bylo po přečtení práce jasné, jaké mají jednotlivé řešení výhody a nevýhody. V práci bych se chtěl nejvíce věnovat aktivním systémům, které automobilky v současné době používají stále častěji.

1 PŘEVODOVÉ ÚSTROJÍ AUTOMOBILU

Abych správně vysvětlil funkci diferenciálu v kontextu celého osobního vozidla, je nutné krátce představit jednotlivé součásti převodového ústrojí, a vysvětlit, proč je nutné jeho použití u automobilů.

Převodové ústrojí vozidla má za úkol měnit kinetické parametry energie přenášené z motoru na všechna hnaná kola. Těmito parametry jsou například úhlová rychlost a točivý moment kol. Převodové ústrojí by ideálně mělo umožnit pohyb vozidla za všech možných podmínek, které mohou za provozu nastat. Každá ze součástí převodového ústrojí má svůj primární účel. Tyto součásti v následujících odstavcích představím a popíšu. [1]

Na následujícím obrázku jsou jednotlivá ústrojí znázorněna. Příkládám ho z toho důvodu, aby bylo zřejmé, kde přesně se jednotlivé mechanismy automobilu nachází. Lze na něm také vidět, že pohonné ústrojí vozidla je velice sofistikovaná soustava.



Obrázek 1 Převodové ústrojí automobilu [1]

1.1 SPOJKY

Hlavním úkolem převodového ústrojí je přenos energie z motoru na vozovku. To znamená, že musí být mechanicky spojené s motorem a hnanými koly. Ta se u stojícího vozidla společně s převodovým ústrojím neotáčí. Aby spalovací motor zůstal v běhu, je nutné ho držet alespoň na volnoběžných otáčkách, tedy takových, při kterých je motor schopen plynulého chodu. Proto je nutné ho od převodového ústrojí odpojit. K tomu nám slouží spojka, která po sešlápnutí spojkového pedálu motor s převodovkou rozpojí. Odpojit motor od převodovky je nutné také v případě, kdy motor dosáhne maximálních otáček, nebo je vhodné přeradit jiný rychlostí stupeň převodovky. [1]

Spojka je jeden nebo více třecích elementů, které jsou regulovatelnou silou přitlačovány na talíř setrvačníku. Pokud tato síla přestane působit, což je způsobeno sešlápnutím spojkového pedálu, tření mezi setrvačníkem a třecími lamelami zanikne, a umožní volnoběžné otáčky motoru i při zastavení vozidla. Sešlápnutím spojkového pedálu totiž uvolníme tlak přitlačného talíře spojky. Převodové ústrojí ale může obsahovat několik druhů spojek, které jsou ovládány různými způsoby, a slouží k různým účelům. Příkladem může být například zubová spojka závěru diferenciálu. [2]

Pokud spojkový pedál začneme zvedat, síla přitlačného talíře na lamely se začne postupně zvyšovat, a začne se přenášet točivý moment. Pokud pedál nepustíme příliš rychle, dojde k prokluzu třecích lamel a pozvolnému a hladkému rozjezdu vozidla.

Při stání vozidla není žádoucí, aby byla spojka rozepnuta. Při rozepnuté spojce totiž dochází k opotřebování spojkového ložiska, a navíc řidič musí stát nohou na sešlápnutém pedálu. Bylo by tedy nemožné vozidlo opustit, pokud by byl nastartovaný motor. Tento problém nám řeší převodovka. [3]



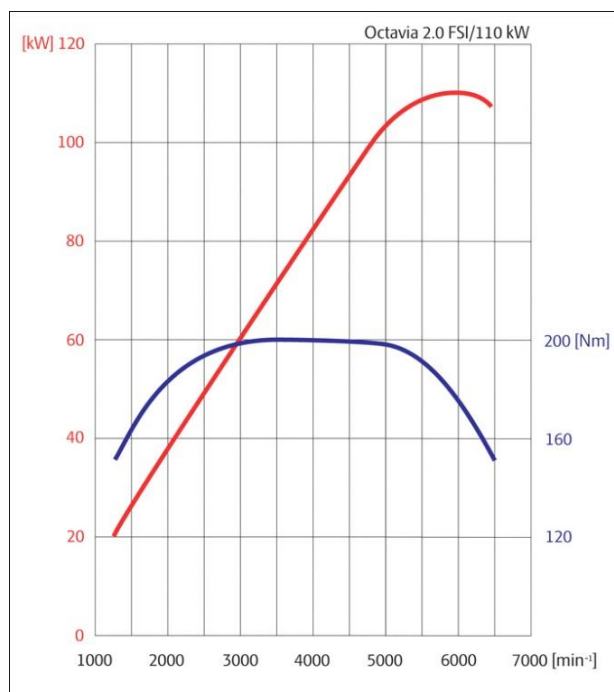
Obrázek 2 Popis součástí suché jedno lamelové spojky [33]

1.2 PŘEVODOVKY

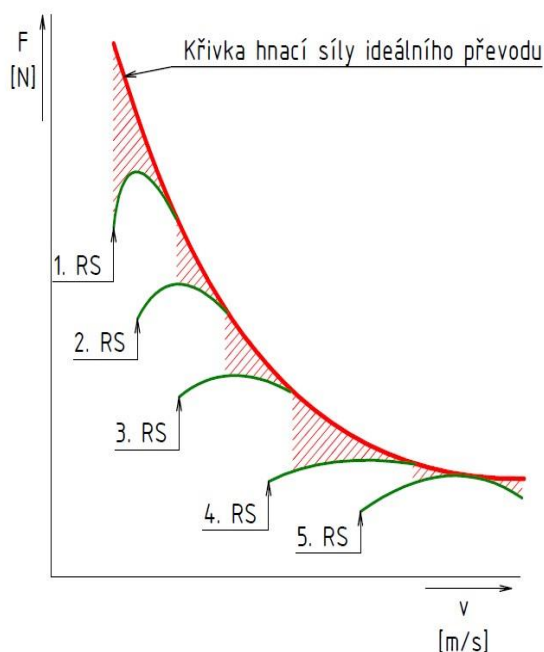
Jak jsem již uvedl výše, spalovací motory pracují pouze v určitém rozsahu otáček. Motory ale nemají v celém rozsahu konstantní účinnost ani točivý moment. Proto je výhodné motor držet v určitém pásmu otáček kvůli úspoře paliva, a jiném pro maximální dostupný výkon. K tomu slouží jednotlivé rychlostní stupně v převodovce. [1]

Řazením jednotlivých rychlostních stupňů se mění převodový poměr mezi motorem a výstupními koly. Převodový poměr je podíl momentu vstupního M_1 a momentu výstupního M_2 . Pokud je převodový poměr $i < 1$, jde o převod do pomala, naopak pokud je $i > 1$, jde o převod do rychla. Použitím převodovky je možné vozidlo provozovat i při vyšších rychlostech, a zároveň motor udržovat v otáčkách, kde je nejvíce efektivní. Ve vyšších rychlostech je tedy použit převod do rychla, kde se snižuje točivý moment převedený na kola, ale zvyšuje jejich úhlová rychlost. [1]

Aby bylo možné využít vždy maximálního výkonu motoru, bylo by nutné použít nekonečné množství převodových stupňů. Z grafu průběhu výkonu na obrázku č. 3 motoru je totiž patrné, že maximální výkon motor dosahuje pouze v určitých otáčkách. V reálných podmínkách, pokud nepoužijeme například převodovku s variabilním převodem, má převodovka omezený počet rychlostních stupňů. Na obrázku č. 4 červená křivka značí hnací sílu ideálního převodu, a zelené křivky průběh hnací síly jednotlivých rychlostních stupňů. Plocha mezi křivkami, která je červeně šrafovaná, nám vyjadřuje nevyužitý výkon motoru. To znamená, že čím více rychlostních stupňů budeme mít, tím lépe bude reálný průběh hnacích sil aproximovat křivku hnací síly ideálního převodu, a výkon motoru bude efektivněji využit. [4]



Obrázek 3 Průběh výkonu a točivého momentu spalovacího motoru [34]



Obrázek 4 Graf hnacích sil rychlostních převodů a hnací síly ideálního převodu

V reálných podmínkách musí konstruktéři použít převodovku, která má omezený počet převodů, a to nejen kvůli její ceně, ale také kvůli hmotnosti a spolehlivosti systému.

Pokud v převodovce není zařazen žádný rychlostní stupeň, je možné pustit spojkový pedál, protože vstupní hřídel v převodovce není nijak spojena s výstupní hřídelí, a může se volně otáčet.

Další funkcí převodovky je umožnit vozidlu změnit směr otáčení výstupních kol, laicky řečeno umožnit vozidlu couvat. Pro tento účel se používá jedno ozubené kolo navíc, vložené mezi kolem vstupní a výstupní hřídele. Toto přidané kolo nám otočí smysl orientace rotace výstupní hřídele převodovky.

1.3 ROZVODOVKA

Pokud by se ke zvyšování točivého momentu používala pouze převodovka, na jednotlivá ozubená kola i samotnou skříň převodovky by působily velké síly. Tyto síly jsou však výrazně nižší díky použití rozvodovky, která se skládá ze stálého převodu a diferenciálu. Převodovka tak může být lehčí, menší a levnější. [5]

Rozvodovka je společně s převodovkou, v případě pohonu všech kol, nebo hnané zadní nápravy, spojena kardanovou hřídelí. U vozidel s pohonem předních kol bývá stálý převod a diferenciál součástí skříně převodovky.

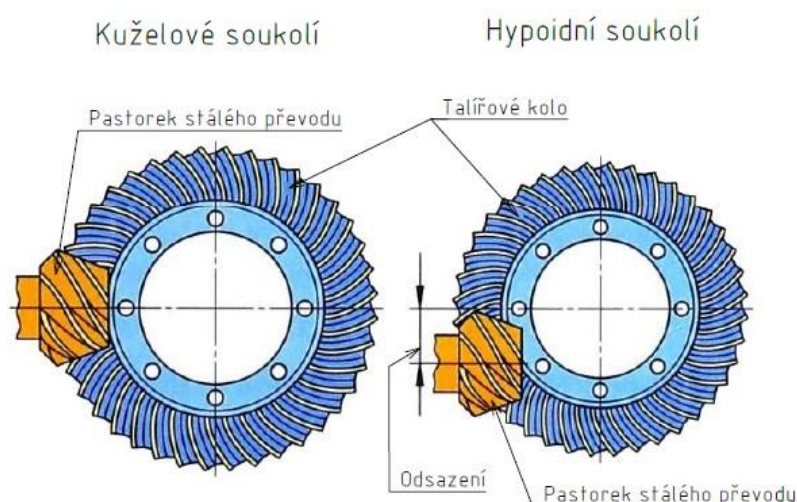
1.3.1 STÁLÝ PŘEVOD

Stálý převod je součástí rozvodovky, a jeho hlavní funkcí je zvýšení točivého momentu působící na hnaná kola, díky čemuž vozidlo snáze překoná jízdní odpory. [5]

Existuje několik typů stálého převodu. Jednotlivé konstrukční řešení stálého převodu se vybírá podle vzájemné orientace výstupní hřídele převodovky, tedy hnací, a hnané hřídele a velikosti zatížení. [1]

V případě, že jsou hřídele rovnoběžné, používá se čelní ozubený převod. Tento převod může mít zuby přímé, nebo šikmé. Nevýhodou přímého ozubení je jeho zvýšená hlučnost, a proto se v osobních automobilech používají zuby šikmé. [6] [5]

Pokud jsou ale hřídele vzájemně kolmé, používá se kuželové, nebo hypoidní ozubení. Tyto typy ozubení nám umožňují změnu směru působení sil o 90° . Rozdíl mezi těmito ozubeními je v tom, že u hypoidního ozubení jsou osy ozubených kol mimoběžné, což umožňuje použití většího pastorku při zachování převodového poměru. Díky tomu je toto soukolí schopno přenášet větší zatížení než ozubení kuželové. Nevýhodou hypoidního soukolí je však jeho cena, která je vyšší než kuželového soukolí, a také nutnost použití kvalitnějšího převodového oleje z důvodu vyššího skluzu ozubení při zátěži. [1]



Obrázek 5 Porovnání Kuželového a Hypoidního soukolí [35]

2 DIFERENCIÁLY

Když se vozidlo otáčí kolem nějakého bodu, jednotlivá kola od něj mají rozdílnou vzdálenost, tudíž se okolo tohoto bodu otáčí s rozdílným poloměrem otáčení. Je tedy nepřipustné, aby se kola točila stejnou úhlovou rychlostí, jako tomu je při přímé jízdě. Vnější kolo se musí vždy otáčet rychleji, protože by jinak docházelo ke smyku jednoho nebo obou kol. To by způsobilo nestabilitu vozidla v zatáčce, nadměrné namáhání převodového ústrojí, opotřebování pneumatik, a také velké ztráty energie. Rozdíl otáček vůči kleci diferenciálu je poté pro obě kola stejný. [2] [5]

Diferenciál tedy umožňuje možnost vzájemné rotace hnaných kol. Kola hnané nápravy jsou spojena poloosami, které přenášejí moment z diferenciálu. Aby byl umožněn pohyb kola při pružení, na obou koncích poloosy jsou homokinetické klouby, které umožňují vychýlení kola beze změny úhlové rychlosti. [2]

KINEMATICKÉ VZTAHY HNANÝCH KOL

Přímá jízda: [7]

$$\omega_l = \omega_p; n_l = n_p \quad (1)$$

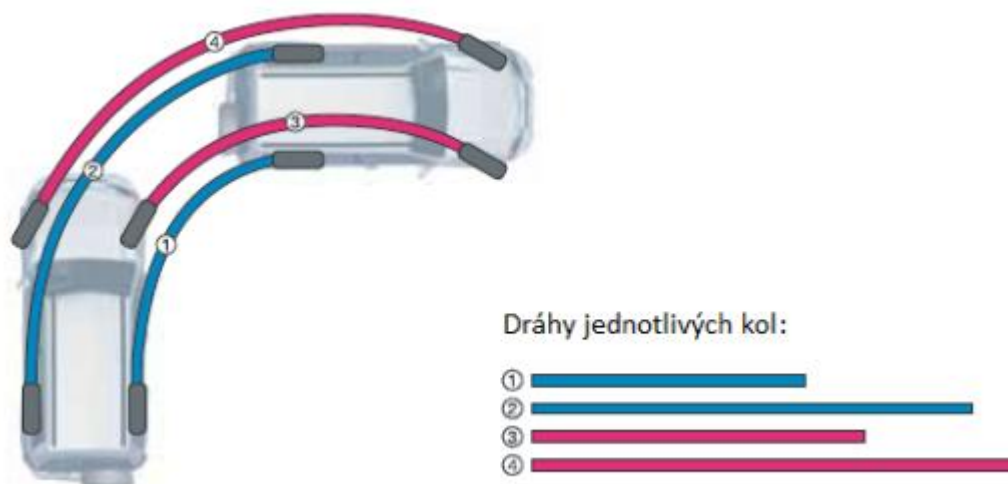
Jízda v zatáčce: [7]

$$2 \cdot n_k = n_l + n_p \quad (2)$$

Maximální moment, který je dané kolo přenést: [7]

$$M_{lmax} = \mu_l \cdot F_l \cdot r_d \quad (3)$$

$$M_{pmax} = \mu_p \cdot F_p \cdot r_d \quad (4)$$



Obrázek 6 Dráhy jednotlivých kol při průjezdu vozila zatáčkou [36]

Ideální diferenciál, kterému se konstruktéři snaží přiblížit, by měl moment přenášet s minimálními energetickými ztrátami, a zajistit maximální možné přenesení točivého momentu na vozovku za každé situace. Tyto dvě vlastnosti se ale navzájem vylučují. Proč tomu tak je, se dozvíte v následujících kapitolách.

Jednotlivá konstrukční řešení diferenciálů kombinují tyto vlastnosti pro konkrétní použití. U různých typů vozidel totiž požadujeme rozdílné chování. Pro vozidlo používané na zpevněné vozovce, které nepotřebuje velkou trakci, ale dbá se na účinnost systému a úsporu energie, použijeme jiné konstrukční řešení než pro vozidlo provozované v horách, které potřebuje maximální trakci pro překonání jízdních odporů.

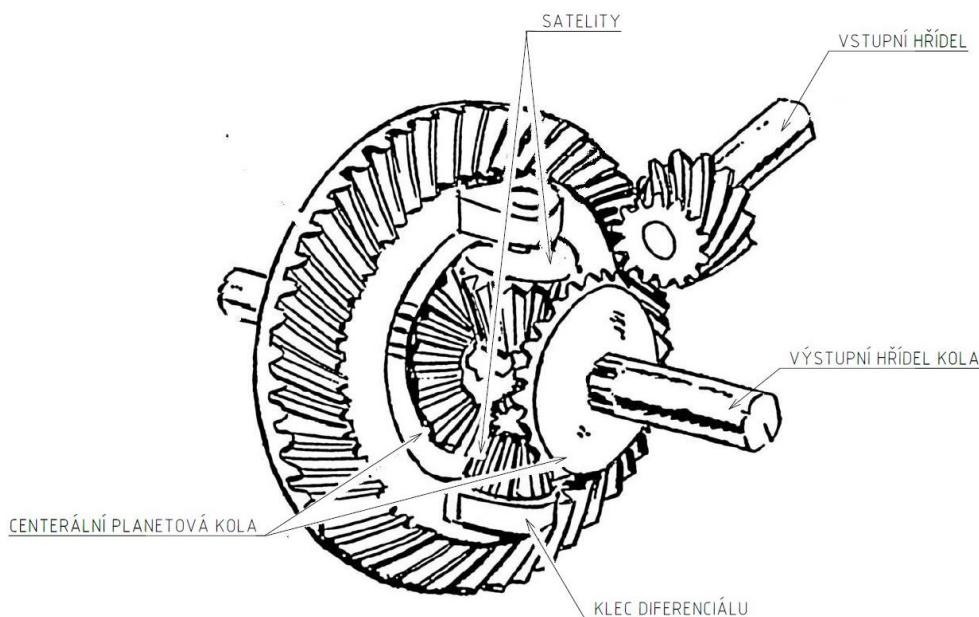
2.1 OTEVŘENÝ DIFERENCIÁL

Otevřený diferenciál je nejjednodušším řešením, které je také jedním z nejpoužívanějších, a to zejména kvůli své ceně. Jedná se o diferenciál, který má vnitřní účinnost zhruba 95 %. To znamená, že v ozubení dochází k minimálním ztrátám. Tento diferenciál vždy rozděluje točivý moment v poměru 50:50 (%), tedy symetricky. Tato vlastnost diferenciálu je žádoucí, ale v určitých situacích může být nevýhodou. Zejména pokud se jedno z hnaných kol ocitne na povrchu se sníženým koeficientem tření. Druhé kolo, které není na klzkém povrchu, přenáší právě takový moment, který přenáší kolo na klzkém povrchu. Diferenciál umožňuje vyšší otáčky kola až do úplného zastavení jednoho z nich. V tu chvíli se vozidlo přestane pohybovat. Pokud se jedno z kol zastaví, druhé se otáčí dvojnásobnými otáčkami klece diferenciálu. [2] [8]

2.1.1 KUŽELOVÝ DIFERENCIÁL

Kuželový diferenciál je tvořen dvěma kuželovými ozubenými koly, kterým jsem říká planetová kola, a jež jsou připevněna drážkovým spojem k poloosám hnaných kol. Dále jsou ke kleci diferenciálu připevněny čepem dvě satelitní kola. Tato kola ale mohou být i čtyři, podle velikosti sil, které musí diferenciál přenášet. Tato kola přenášejí energii z klece na planetová kola, a zároveň umožňují nezávislé otáčení planetových kol. Pokud se satelity při jízdě neotáčí, nedochází k diferencii otáček hnaných kol, a vozidlo jede přímo. Pokud se ale otáčí, jedno z kol se musí zákonitě otáčet rychleji. [2]

Pro rozdělení momentu v poměru 50:50 (%), musí mít oba satelity i obě planetová kola stejný počet zubů. Pokud by jedno z nich mělo větší počet zubů, mělo by společně se satelitem větší převodový poměr než druhé s totožným satelitem. To by vedlo k nerovnoměrnému rozdělení momentů. Tato skutečnost je využívána v mezinápravových diferenciálech. Při akceleraci vozidla je zadní náprava vozidla více zatížena než přední, a tudíž je schopna přenést větší točivý moment na vozovku. Proto je výhodné moment rozdělit v jiném poměru než 50:50 (%) a převést energii na více zatíženou nápravu. [2]

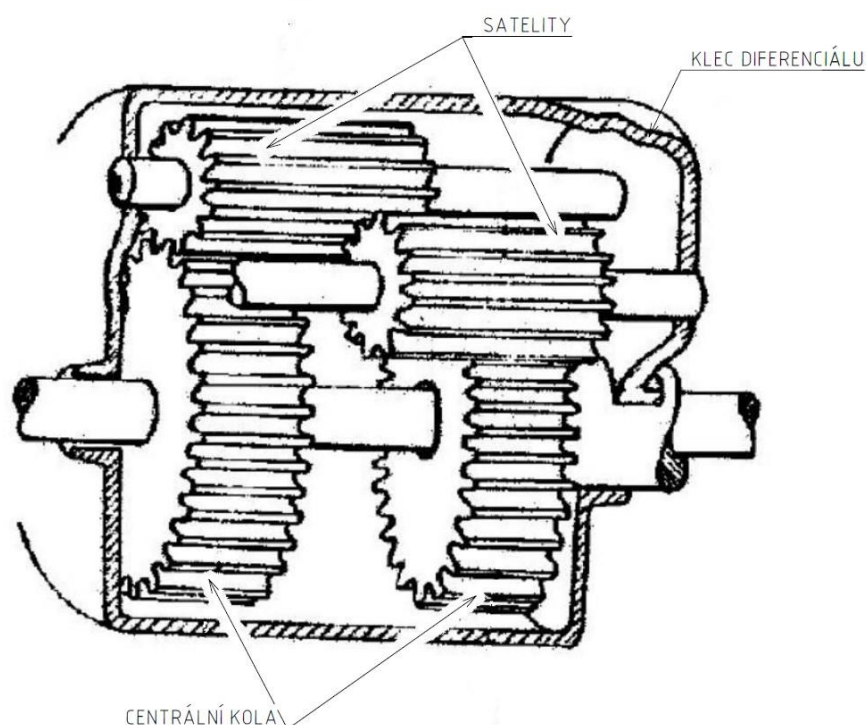


Obrázek 7 Popis částí otevřeného kuželového diferenciálu [8]

2.1.2 ČELNÍ DIFERENCIÁL

Čelní diferenciál je stejně jako kuželový tvořen dvěma planetovými koly, které jsou ale s čelním ozubením. Tato kola jsou připevněna k výstupním hřídelím. Okolo nich jsou ke kleci diferenciálu otočně připevněny satelity, které tvoří spoluzabírající dvojici. Každý satelit z této dvojice ale zabírá pouze s jedním planetovým kolem, čímž je zajištěna možnost difference otáček kol. [2]

Tento typ otevřeného diferenciálu není natolik používán jako kuželový. Jedním z nejznámějších vozidel, které proslulo právě svým podvozkem a převodovým ústrojím, u kterého byl použit čelní diferenciál, je Tatra 815. [2] V současnosti je použit například u vozu Audi e-tron, kterému se budu věnovat později.



Obrázek 8 Popis částí otevřeného čelního diferenciálu [5]

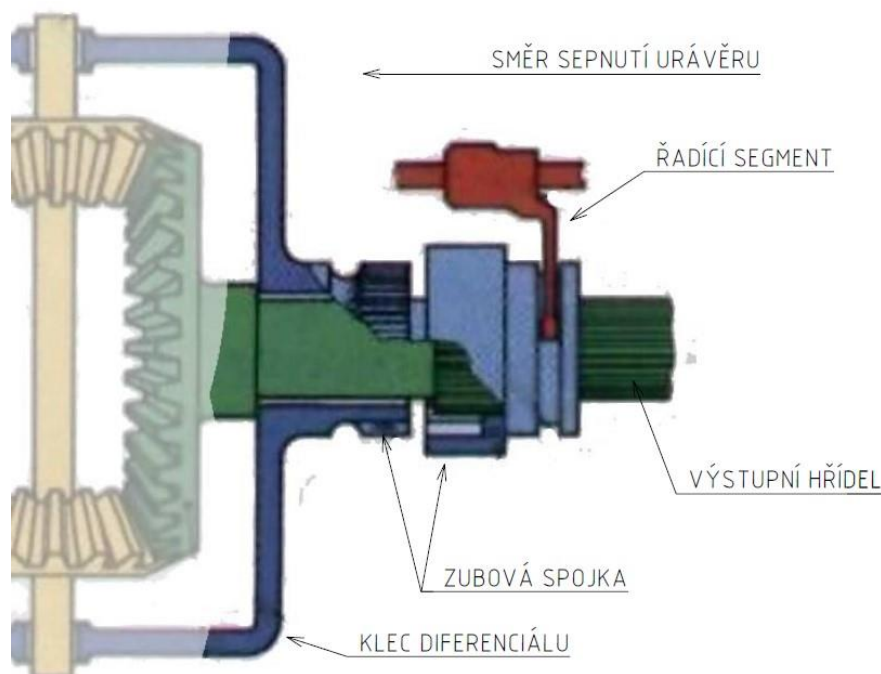
2.2 ZÁVĚR DIFERENCIÁLU

Otevřené diferenciály jsou nejpoužívanější pro svoji jednoduchost, nízké nároky na mazání, a nízkou cenu. Pro jízdu na kluzkém povrchu nebo v terénu jsou však nevhodné kvůli již zmíněným důvodům.

Zamezení prokluzu jednoho z kol, a tím zlepšení trakce vozidla, lze řešit vyřazením diferenciálu z provozu. Diferenciál lze vyřadit z provozu tak, že jednu z výstupních hřídelí spojíme s klecí diferenciálu. Tím zamezíme odvalování satelitů po planetových kolech, a vnitřní účinnost diferenciálu se sníží na 0 %, jeho svornost se naopak zvýší na 100 %. [1]

Jako závěr diferenciálu se používá například zubová spojka. Jedná se o posuvnou objímku s vnitřním drážkováním, která se mechanicky na pokyn řidiče nasune přes drážkování na hřídeli a kleci diferenciálu. Podmínkou je však to, že vozidlo musí být při aktivaci uzávěrky diferenciálu nehybné. Existují ale i řešení, kde lze uzávěr diferenciálu aktivovat i za jízdy. [1] [4]

Nevýhodou je to, že uzávěr lze použít pouze pro rozjezd a vyproštění vozidla, nebo na vozovce se souvislou vrstvou snižující trakci. Pokud by vozidlo s aktivovanou uzávěrkou diferenciálu bylo provozované například na suchém asfaltu, převodové ústrojí by bylo velmi zatěžované, a vozidlo nestabilní. Tyto jevy, jak již bylo řečeno, eliminuje diferenciál, který je uzávěrkou vyřazen z provozu. [1] [4]



Obrázek 9 Schéma uzávěru diferenciálu [1]

2.3 SAMOSVORNÉ DIFERENCIÁLY

U otevřených diferenciálů je použití závěru diferenciálů na vozovce s dobrou přilnavostí nevhodné a uživatelsky obtěžující. Řidič totiž kvůli aktivaci musí ve většině případů zastavit a následné projíždění zatáček kvůli prokluzu některých kol se může stát nebezpečným.

Trakci vozidla na vozovce lze ale zvýšit i jinými řešeními. Jedním z nich jsou diferenciály samosvorné. Ty v zatáčkách plní svoji základní funkci, kterou je umožnění rozdílných úhlových rychlostí hnaných kol. Při akceleraci se zvýší vnitřní tření diferenciálu, tedy sníží jeho účinnost, což zabrání vzájemnému protáčení kol. Točivý moment z protáčejícího se kola se díky snížení vnitřní účinnosti přenesení na kolo s lepší trakcí. Můžeme tak docílit jiného poměru rozdělení momentu na hnaná kola, než je 50:50 (%). Svornost samosvorných diferenciálů, které se u osobních automobilů používají, dosahuje zhruba 40 % (vnitřní účinnost 60 %). Tím se ale zvýší energetické ztráty přenosu sil, a vzroste spotřeba vozu. [2]

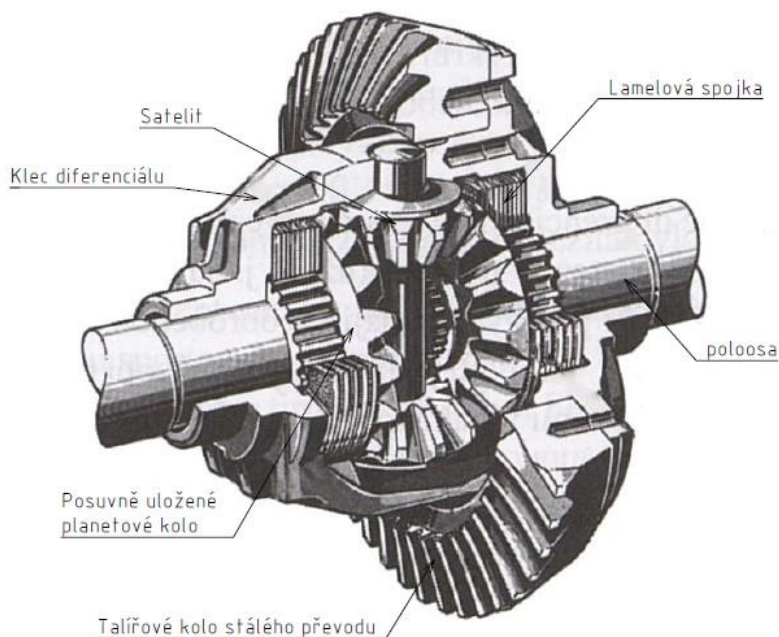
Nejčastěji používanými samosvornými diferenciály jsou diferenciály s třecími spojkami a diferenciály torsen, které si představíme blíže. [1] Existují i diferenciály bez ozubených kol, které moment přenáší pomocí vačkových výstupků. Ty jsem se ale pro méně časté použití rozhodl vynechat. [2]

2.3.1 DIFERENCIÁLY S TŘECÍMI LAMELOVÝMI SPOJKAMI

Tento typ diferenciálu je založen na principu otevřeného kuželového diferenciálu, kterému je ale pomocí lamelových spojek v závislosti na podmínkách zvýšena svornost. Spojky jsou pomocí drážkování upevněny k výstupnímu hřídeli. Mezi jednotlivými lamelami jsou vloženy ocelové kotouče, které jsou drážkováním připevněny ke kleci diferenciálu. Centrální ozubené kolo je stejně jako lamely pomocí drážkování upevněno na výstupní hřídeli, tudíž je na hřídeli uloženo posuvně. Je to nutné z toho důvodu, aby bylo schopné stlačovat lamely k sobě, a vytvářet tak třecí moment. [2] [9]

Prvním velmi častým řešením, jak lamely stlačit, je pomocí axiálních sil v kuželovém ozubení centrálního ozubeného kola a satelitu. Při akceleraci axiální síla v ozubení tlačí lamelové spojky, a zvýší tím svornost diferenciálu. U některých typů je mezi centrální kola vložena pružina, která v lamelových discích vytvoří předpětí. Tím zvyšuje jeho svornost i v nezatíženém stavu. [9]

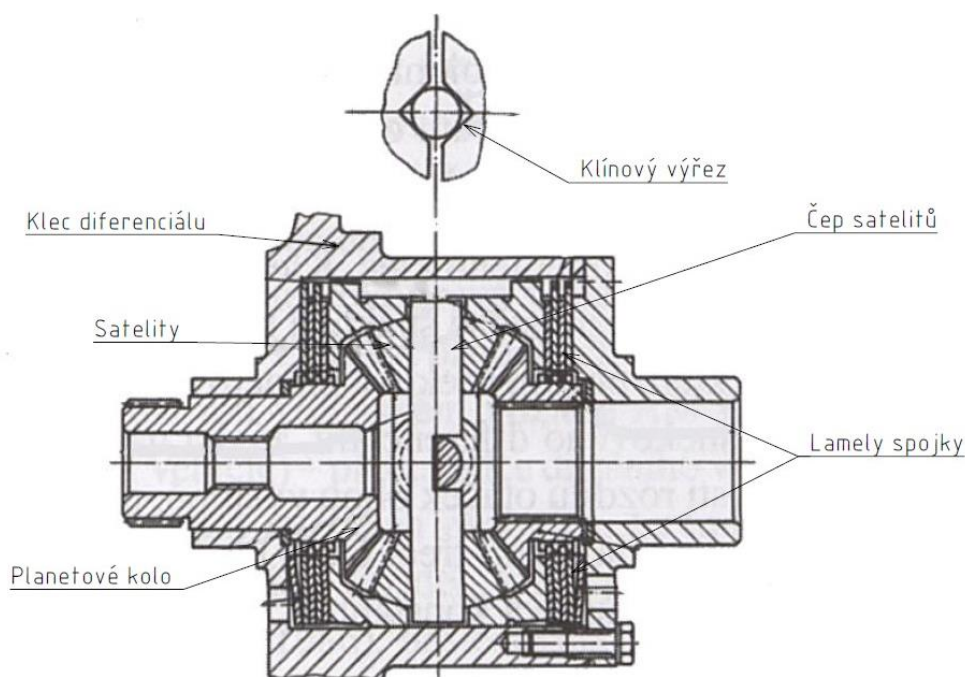
Výhoda zvýšené svornosti na kluzkém povrchu se ale u diferenciálů s kontrastními pružinami může stát nevýhodou. Při malém poloměru otáčení totiž dochází k velké diferenci otáček vnitřního a vnějšího kola. Pokud jedno z kol neprokluzuje, energie, která by u otevřeného diferenciálu byla přenesena na vozovku, je u těchto diferenciálů ztracena v podobě tepla ve spojkách. Další nevýhodou je to, že téměř neustále dochází k prokluzu těchto lamelových spojek, a za určitých podmínek může dojít k jejich rychlému opotřebení. [2]



Obrázek 10 Části samosvorného diferenciálu s třecími lamelovými spojkami [2]

DIFERENCIÁL LOCK-O-MATIC

U tohoto systému jsou lamely společně s ocelovými disky k sobě stlačovány přítlačnými kotouči, které jsou drážkováním upevněny v kleci diferenciálu. To umožňuje jejich axiální pohyb. Lamely jsou předepjaté pomocí talířových pružin, které tlačí na přítlačné kotouče. Ty v sobě mají klínové výřezy, ve kterých jsou uloženy čepy satelitů. Při akceleraci čepy satelitů působí silou na zmiňované výřezy. Tím vzniká axiální síla, která společně se silou pružin stlačí lamely a diferenciál zvýší svou svornost. [2]



Obrázek 11 Popis samosvorného diferenciálu typu Lock-o-matic [2]

2.3.2 DIFERENCIÁLY TORSEN

Název Torsen vznikl kombinací anglických slov „torque“ a „sensitive“. Nechá se tedy přeložit jako „citlivý na točivý moment“. Tento typ diferenciálu mění svoji svornost v závislosti na aktuální jízdní situaci. [9] Umožňuje mu to princip přenosu sil ve šnekovém soukolí, na kterém je založena jeho funkce. Ve šnekovém soukolí dochází k velkému skluzu zubů, což má za následek malou vnitřní účinnost diferenciálu. Tvar ozubení je navržen takovým způsobem, aby k docházelo k tomuto zvýšenému tření pouze pokud satelit (šnekové kolo) roztáčí centrální ozubené kolo (šnek). [2]

Torsen diferenciál má tři páry satelitů kvůli možnosti přenosu většího momentu než jedním párem. Je totiž v záběru třikrát více zubů, než by bylo u diferenciálu s jedním párem satelitů. Satelity mají v prostřední části šnekové ozubené kolo a na jeho koncích čelní ozubená kola. Každý z tohoto páru satelitů je v záběru s centrálním ozubeným kolem jiného hnaného kola. Čelní ozubená kola satelitů tedy spojují obě výstupní hřídele a umožňují přenos točivého momentu mezi koly. [2]

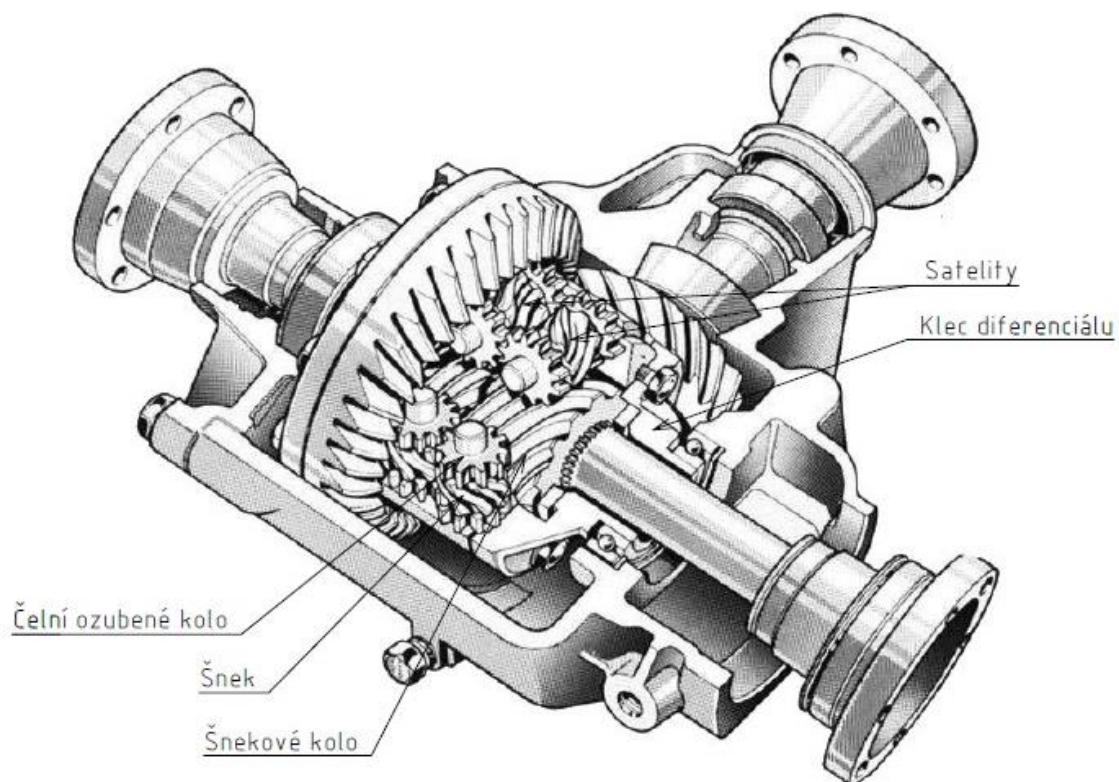
Pokud vozidlo projíždí zatáčkou, vnější hnané kolo se otáčí rychleji než vnitřní kolo. Vnější kolo centrálním ozubeným kolem roztáhne satelit, který je pomocí čelního ozubeného soukolí spojen s druhým satelitem. Ten se musí otáčet v opačném směru, což umožní nižší otáčky vnitřního hnaného kola. Diference otáček u každého z kol je oproti kleci diferenciálu stejná. [9]

Při prokluzu z jednoho kol se společně s ním roztáhne satelit. Spoluzabírající satelit se snaží roztáhnout kolo s dobrou adhezí, ale tření ve šnekovém převodu to neumožní. Protáčející kolo je tím zpomaleno a síla je přenesena na kolo s dobrou adhezí. Celý mechanismus torsen diferenciálu je založen na zvýšeném tření ve šnekovém ozubení. [2]

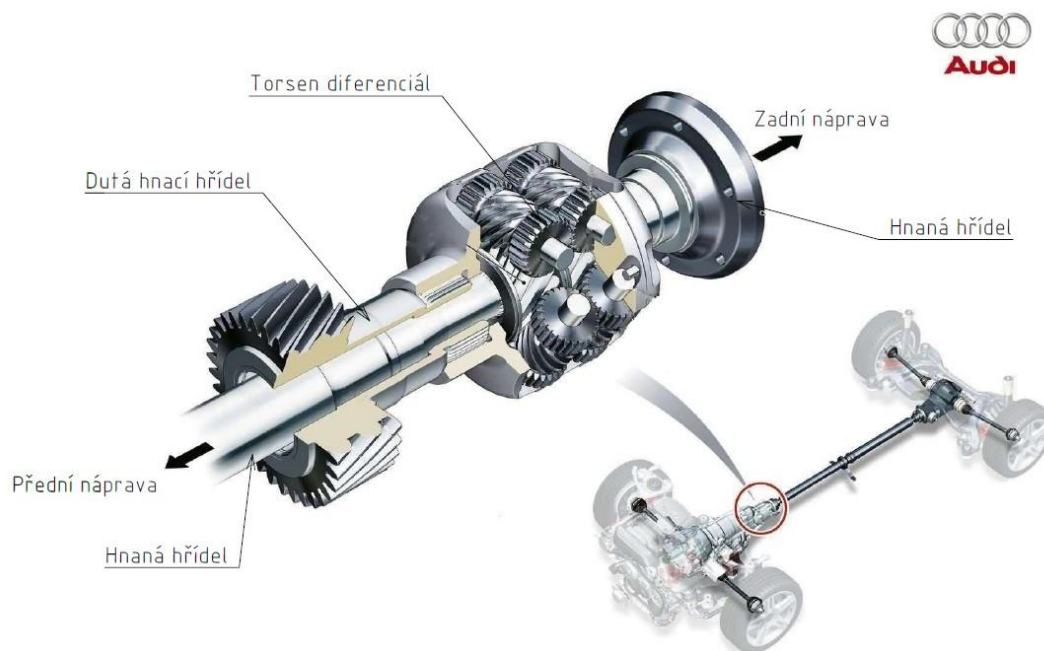
Čím větší sílu se na vozovku snažíme přenést, tím větší tření je ve šnekovém převodu. To způsobuje zvýšenou svornost diferenciálu a přerozdělení momentu v nesymetrickém poměru. Pokud ale vozidlo přestane akcelarovat a diferenciál není motorem zatěžován, tento svorný účinek zmizí. [2]

Tyto diferenciály se využívají pro pohon přední nebo zadní nápravy, ale bývá často používán i jako centrální diferenciál u vozidel s pohonem všech kol. Nevýhodou těchto diferenciálů je to, že pokud je jedno z kol zcela nezatíženo, tření ve šnekovém převodu téměř zmizí, a nadlehčené kolo se začne protáčet. [10] Další nevýhodou jsou vysoké energetické ztráty ve šnekovém ozubení na vozovce s dobrou adhezí, kde nedochází k prokluzu kol a není nutné přerozdělovat moment v jiném poměru než 50:50 (%). V neposlední řadě je nevýhodou vyšší opotřebení převodu kvůli skluzu mezi zuby, než je například v diferenciálech s kuželovým ozubením. Je proto nutné používat kvalitní převodové oleje a dbát na jejich pravidelnou výměnu. Jinak by mohlo dojít k nadměrnému opotřebení převodů. [2]

Existuje více konstrukčních řešení diferenciálů torsen, které zde ale uvádět nebudu, protože fungují na stejném principu. Jako mnohem zajímavější řešení mi přijdou diferenciály aktivní, kterými se v této práci budu zabývat nejvíce.



Obrázek 12 Popis částí diferenciálu torsen použitého na zadní nápravě [5]



Obrázek 13 Popis použití mezinápravového diferenciálu torsen [41]

3 AKTIVNÍ SYSTÉMY DIFERENCIÁLŮ

V dnešní době, kdy jsou výrobci automobilů nuceni snižovat emise produkované provozem vozidla, nejsou samosvorné diferenciály, které mají uměle sniženou účinnost, výhodné. Většinu času, kdy je vozidlo v pohybu, není třeba moment přerozdělovat v jiném poměru než ho rozdělují diferenciály otevřené.

Právě proto výrobci začali s rozvojem elektroniky vyvíjet diferenciály, jejichž účinnost (svornost) může být aktivně upravována. Výsledkem jejich práce jsou systémy, které na vozovce s dobrou přilnavostí, nebo při mírné akceleraci, kde hnací síla vozidla není velká, fungují s účinností otevřených diferenciálů a v případě potřeby různými způsoby sniží účinnost, a umožní přenos momentu z jednoho kola na druhé. [11] Je tak dosaženo výrazné úspory paliva. Právě proto tyto systémy v současné době výrobci využívají téměř u všech vozidel. Ať už kvůli zvýšení trakce vozidla na kluzkém povrchu, nebo kvůli dosažení lepších jízdních vlastností při rychlé jízdě.

U vozidel s jednou hnanou nápravou jsou používány diferenciály principiálně velmi podobné těm kuželovým s třecími lamelovými spojkami, které jsou samosvorné. U aktivních diferenciálů ale lamely nejsou stlačovány axiální silou tvořenou v ozubení, nebo jiným čistě mechanickým způsobem. Zde jsou lamely sepnuty silou, která je elektronicky regulovatelná, a diferenciál v extrémním případě může mít až 100% svornost. To znamená, že hnaná kola jsou spolu pevně spojena, a je znemožněna jejich vzájemná rotace. Záleží ale na velikosti točivého momentu, který musí náprava přenést, a na velikosti síly, která tlačí na lamely spojky. [11]

V případě pohonu všech kol tyto systémy umožní například zcela odpojit jednu z náprav, nebo v případě systémů se stálým pohonem všech kol přenos momentu z jedné nápravy na druhou. Ve většině systémů, které jsou v současnosti používány, je tohoto efektu dosaženo použitím vícelamelové třecí spojky, která je elektronicky sepnuta.

Jak ale elektronika pozná, kdy tuto spojku sepnout? Informace o tom, jestli je třeba systém aktivovat, získává pomocí senzorů, které jsou rozmístěny ve vozidle a přináší signál do ECU. Zde uvedu některé příklady těchto senzorů: senzory systému ABS, které zaznamenávají úhlovou rychlost jednotlivých kol, senzor sešlápnutí plynového pedálu, senzor natočení volantu, či gyroskop. [1]

Jejich nevýhodou může být ale nepředvídatelnost chování. Pracují totiž na algoritmu, který nemusí vždy zafungovat tak, jak by si řidič představoval. Tento problém může být vyřešen tím, že si řidič podle podmínek může vybrat z několika přednastavených jízdních režimů, čímž si může do jisté míry ovlivnit chování vozu. Další nevýhodou je vyšší cena, váha, a složitost některých systémů.

3.1 AKTIVNÍ SYSTÉMY PŘIBRZDOVÁNÍ KOL

Jako první bych se rád věnoval systémům, které fungují společně s otevřenými diferenciály. Jedná se o systémy konstrukčně velmi jednoduché. Vozidlo je vybaveno otevřeným diferenciálem, a pokud dojde k prokluzu kola, nebo systém vyhodnotí, že by bylo vhodné moment přerozdělit v jiném poměru, příslušné kolo je brzdovým třmenem přibrzděno. Tím je na prokluzující kolo přiveden brzdný moment, který je v opačném směru přes otevřený diferenciál přenesen na vozovku. [12]

Jedná se tedy o podobný systém jako je používán při brždění, kde systém brzdí každé kolo individuálně. Pokud by totiž při brždění byla jedna polovina automobilu na vozovce s dobrou adhezí, a druhá polovina například na zledovatělém povrchu, při plném sepnutí brzd by odlišné brzdné síly způsobily moment síly, který by zapříčinil rotaci vozidla. Ta by poté mohla vést k nehodě. Při brždění jsou brzdové třmeny kol s dobrou adhezí povolovány, aby byla zaručena stejná úhlová rychlost všech kol. Tuto funkci mají od roku 2015 všechny vozidla a nazývá se ESP. [12]

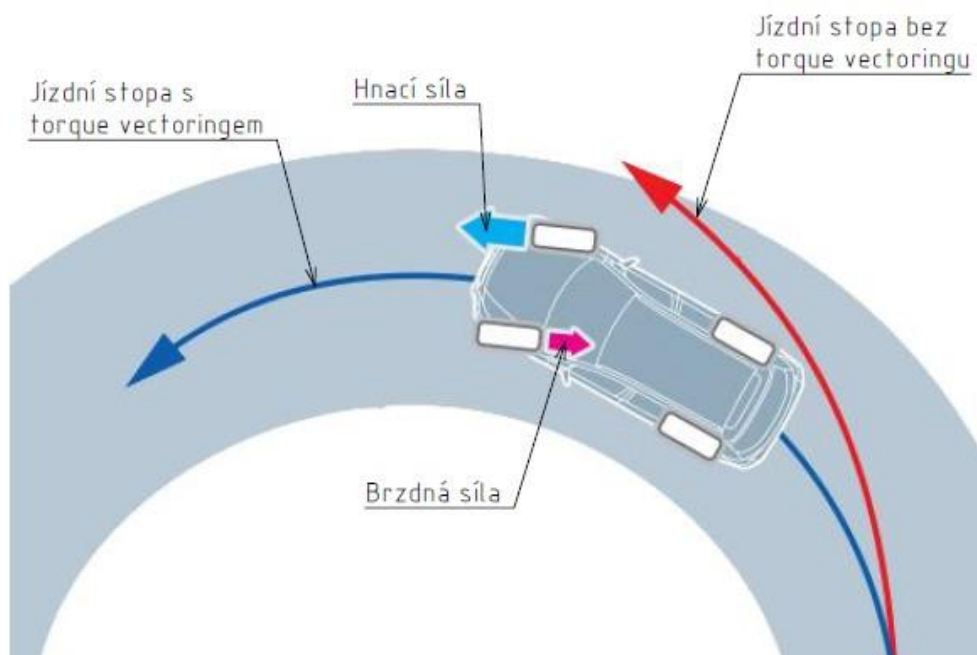
Při akceleraci přenesení hnací síly na jedno z kol způsobí stejný moment, jaký by vznikl v případě, který jsem popsal v předchozím odstavci. Tento moment je ale v určitých situacích chtěný. Například při průjezdu zatáčkou, kdy tento moment pomůže s natáčením vozidla. Tato funkce se v angličtině nazývá Torque vectoring.

Automobilky v dnešní době používají tento systém téměř ve všech vyráběných modelech. Některé modely tento systém mají aktivní pouze do omezené rychlosti, kde pomáhají hlavně s rozjezdem vozidla. Hnací síla přenášená na vozovku je v ten okamžik nejvyšší, tudíž velmi snadno dojde k prokluzu kol.

Torque vectoring systémy, které vozidlu pomáhají při zatáčení, fungují i při vyšších rychlostech, a jsou často používány u modelů s vyšším výkonem, u kterých se klade důraz na sportovní chování vozidla. [13]

Jednotlivé automobilky mají pro tento systém svůj název, ale převážně fungují na stejném principu. Například koncern Volkswagen, jehož automobily jsou v Evropě nejrozšířenější, využívá dva systémy. Systém EDS, který je často popisován názvem „elektronický uzávěr diferenciálu“ a jeho funkce je omezena maximální rychlostí. Druhý systém nese název XDS, který právě funguje i za vyšších rychlostí a přispívá k lepšímu průjezdu zatáčkou. [12]

Tyto systémy jsou vzhledem k přibrzdění jednoho z kol, kde dochází k velkým ztrátám energie, poměrně neefektivní. Pro jejich jednoduchost a to, že kvůli jejich funkci není do vozidla přidávat téměř žádné další mechanické prvky, jsou často využívány. Pokud je ale vozidlo často provozováno na hranici trakce, může to vést k nadměrnému opotřebení brzdových destiček, na okruhu k přehřívání brzdových kotoučů a snížení jejich účinnosti. Pro toto použití tedy tyto systémy nejsou příliš vhodné. [14]



Obrázek 12 Rozdíl trajektorie vozidla při použití Torque vectoring [37]

3.2 POHON JEDNÉ NÁPRAVY

Především u sportovních vozů, u kterých se předpokládá, že mohou být majiteli provozovány na závodním okruhu, je ztráta energie v podobě přibrzdování jednoho z kol velkým neduhem. Tento problém je řešený sofistikovanými systémy, u kterých jsou energetické ztráty mnohem menší, a nedochází k přehřívání brzdového obložení a kotoučů.

Tyto systémy vysvětlují na vozidlech s pohonem pouze jedné nápravy. Můžou jimi ale být vybaveny i vozy s pohonem všech čtyř kol, kde pracují společně s dalšími systémy, které se starají o přenos sil mezi nápravami.

Aby se snížily ztráty způsobené přibrzdováním, kde dochází k velkému vzájemnému prokluzu brzdového třmene a kotouče, je výhodnější omezovat rotaci kola vůči kleci diferenciálu. Tato rychlost totiž při průjezdu zatáčkou není ani zdaleka tak velká, jako je mezi třmenem brzdy a kotoučem. Systém se tak mnohem méně zahřívá, a pracuje s mnohem větší efektivitou využití energie. [14]

U vozidel s pohonem přední nápravy je mezi jednu z hnaných poloos a klec diferenciálu vložena elektronicky spínaná lamelová spojka. Při průjezdu zatáčkou je vlivem odstředivých sil přenesena větší část váhy na vnější kolo. Při přidání plynu se pak vnitřní kolo, které není téměř zatížené a v extrémním případě může být dokonce ve vzduchu, začne protáčet, a vozidlo ztratí trakci. Sepnutím lamelové spojky se ale umožní přenos síly na kolo, které je zatíženo. Vozidlo tak může mít mnohem rychlejší výjezd ze zatáčky a zvýšit prožitek z jízdy. [15]

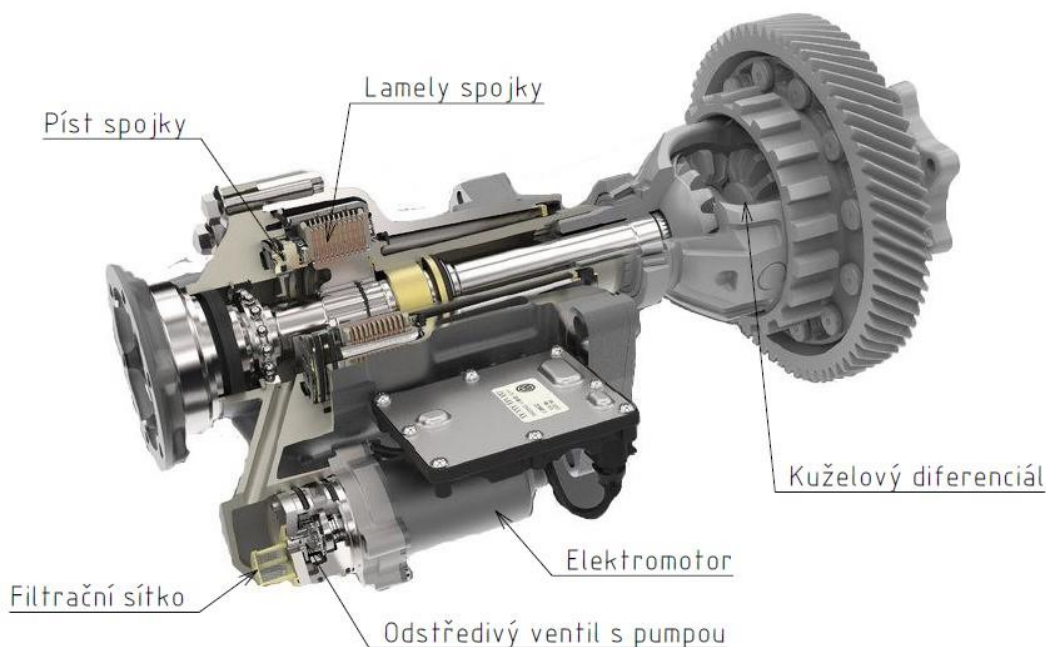
Stejně jako systémy s přibrzdováním kol, i tento systém přenesením momentu na vnější kolo vyvine na vozidlo moment, který pomáhá vozidlu zatočit, a předejít tak nedotáčivému chování vozidla, kterým vozy s pohonem přední nápravy často trpí.

3.2.1 VAQ

Prvním systémem, který je založen na tomto principu, je systém VAQ vyvinutý koncernem Volkswagen, a je použit například u modelu Volkswagen golf GTI, Škoda Octavia RS se zážehovým motorem 2,0 TSI, nebo Seat Leon Cupra. [14] [15]

Jedná se o klasický otevřený kuželový diferenciál, který je účinný a zároveň velmi levný. Tento diferenciál je doplněn lamelovou spojkou. Lamely v této elektrohydraulicky spínané spojce můžou být stlačovány různou silou, a regulovat tím svornost celého diferenciálu.

Elektrohydraulicky spínaná spojka je taková, kde jsou lamely stlačovány hydraulickým olejem, a tlak v oleji je tvořen pomocí elektricky poháněné pumpy. Tlak v hydraulickém okruhu systému je regulován řídicím ventilem. Jedná se v podstatě o spojku se stejným principem funkce jako spojka Haldex, kterou se budu zabývat v další kapitole.



Obrázek 13 Popis součástí aktivního diferenciálu VAQ [38]

FORD E-LSD

Ford například ve své sportovní verzi vozu Ford Focus ST přichází s totožnou technologií, jako koncern Volkswagen. Automobilka pro systém použila pouze jiné označení. Stejně jako Volkswagen totiž technologii vyvinuli společně se společností BorgWarner. [16]

HYUNDAI E-LSD

Další automobilkou, která tento systém použila, je Hyundai. Použila jí u svého sportovně laděného modelu Hyundai i30N, který je stejně jako zmiňované modely automobilek koncernu Volkswagen a Ford hnaný pouze na přední nápravu. Použila ale systém vyvinutý společností Wavetrack a označením ATB (Automatic Torque Biasing). [17]

3.2.2 BMW M-DIFERENCIÁL

Tato konstrukce byla vyvinuta německou automobilkou BMW, která ho používá u vozidel s pohonem zadní nápravy. Na rozdíl od systému VAQ ale spojka není spínána hydraulickou kapalinou. Elektromotor zde pomocí šnekového převodu ovládá vačkový mechanismus, který po pootočení o určitý úhel stlačí lamely spojky. Síla aplikovaná na lamely je závislá na tom, o jak velký úhel se vačkový mechanismus pootočí. [11] [18]



Obrázek 14 Aktivní M diferenciál [11]

3.2.3 AUDI SPORT DIFERENCIÁL

Automobilka audi přišla s konstrukčně zcela jiným řešením. U diferenciálu používaného na zadní nápravě použila klasický kuželový otevřený diferenciál. Na každé straně je ale přídavné soukolí, které se otáčí o 10 % rychleji, než poloosa (hnaná hřídel kola). Toto soukolí je elektrohydraulicky spínanou lamelovou spojkou připojeno k poloose, což zvýší otáčky daného kola a tím začne přenášet vyšší točivý moment. [19]

Tento systém není určený ke zlepšení trakce. Nedokáže totiž při prokluzu kola spojit kolo navzájem s druhým, a umožnit tak mezi nimi přenos momentu. Je určený pouze k tomu, aby vozidlu pomáhal zatáčet při rychlém průjezdu zatáčkou.



Obrázek 15 Sport diferenciál [11]

3.3 SYSTÉMY POHONU VŠECH KOL S ODPOJITELNOU NÁPRAVOU

Pokud ale nestačí pohon pouze jedné z náprav, přichází na řadu pohon všech kol. Vozidla s pohonem všech kol mají kvůli přenosu sil mezi nápravami mnohem více pohyblivých mechanických prvků. Při jejich pohybu zákonitě musí docházet k určitým energetickým ztrátám. Další nevýhodou vozidel s pohonem všech kol je jejich hmotnost. Ta je díky přidaným dílům podstatně vyšší, a může být nevýhodou například při zatáčení. Díky vyšší hmotnosti na vozidlo totiž působí mnohem větší odstředivá síla.

Energetické ztráty se výrobci snaží eliminovat různými způsoby. Některé z řešení, které jsou použity u vozidel v Evropě nejčastěji prodávaných, v následujících odstavcích krátce představím a vysvětlím.

3.3.1 MEZINÁPRAVOVÁ SPOJKA HALDEX 5. GENERACE

Starší generace této spojky byla použita například již ve Škodě Octavia 4x4 první generace. Od té doby prošla řadou technických vylepšení, a v současnosti je její 5. generace automobilkami s oblibou využívána. A to zejména u vozidel s motory uloženými napříč, a cenově poměrně dostupných. [2] [20]

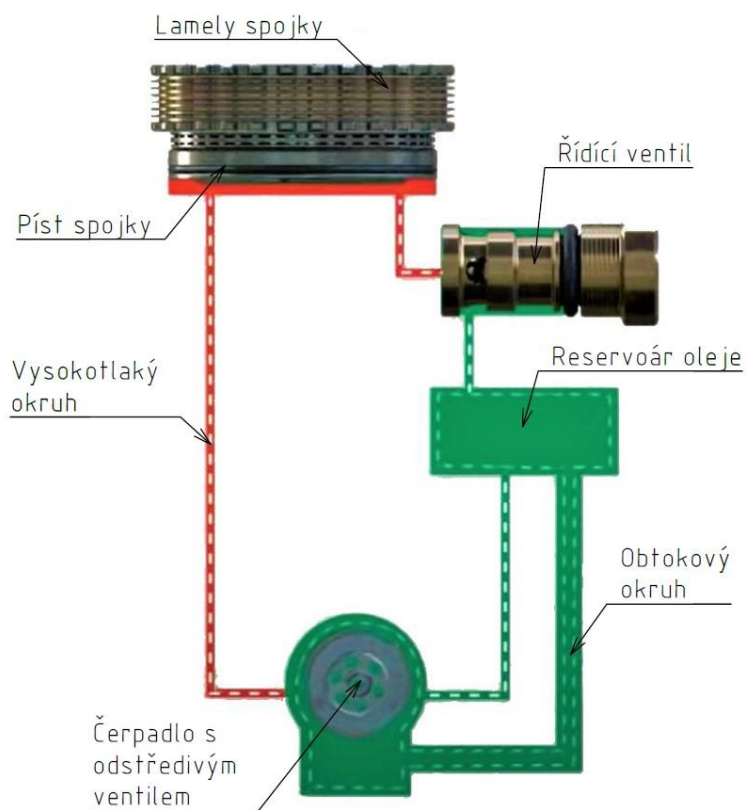
Jedná se o elektrohydraulicky ovládanou lamelovou spojku, která spojuje přední a zadní nápravu vozidla. Při běžném provozu vozidla je tato spojka rozepnuta, což znamená, že na zadní nápravu skrze ni není přenášený téměř žádný moment, a celý systém tak pracuje s vyšší účinností. Díky tomu se vozidla s tímto systémem svojí spotřebou přibližují vozidlům s pouze jednou hnanou nápravou. [20]

Spojku však nelze rozepnout úplně. Vždy mezi lamelami spojky bude nějaké tření, které způsobuje mechanické ztráty. Reálně prochází rozpojenou spojkou něco mezi 5-10 % výkonu. Současně je při akceleraci potřeba energie na roztočení přidaných součástí. [20]

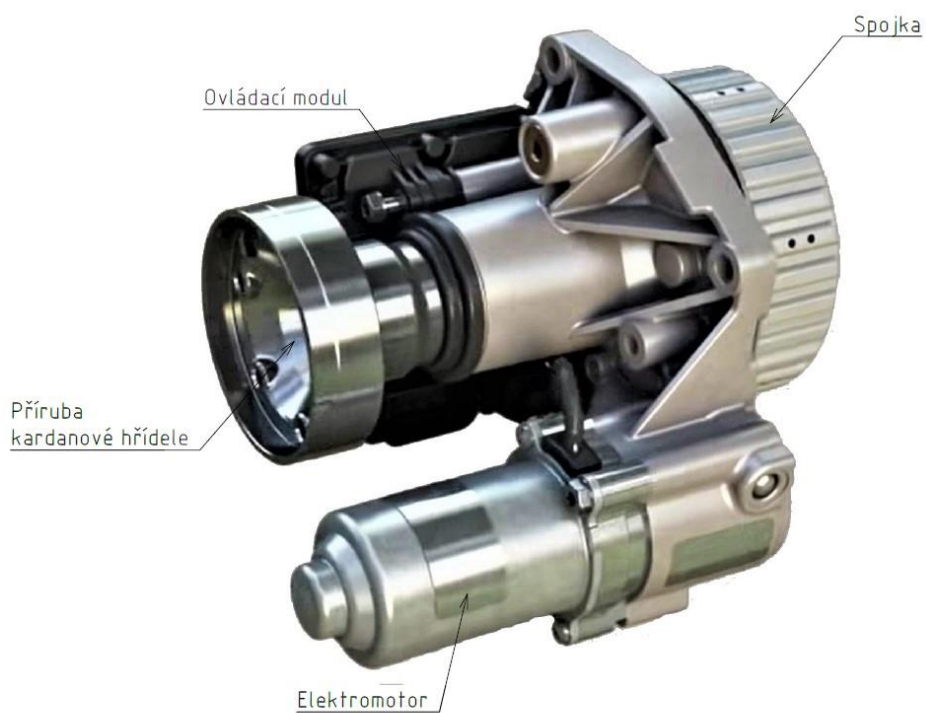
V případě prokluzu některého z kol uvědomí čidla rozmístěné po vozidle centrální jednotku o této skutečnosti, a ta spojku sepne. Moment se tak přerozdělí na všechna hnaná kola, a na prokluzující kolo již nepůsobí taková hnací síla, která prokluz způsobila. Moderní elektronické systémy situaci vyhodnocují několikrát za vteřinu, a díky tomu může téměř předejít jakémukoliv prokluzu. [2]

Jednotlivé lamely spojky jsou stlačovány pístem, na který tlačí hydraulická kapalina. Systém má dva hydraulické okruhy. Prvním okruhem kapalina proudí, pokud je spojka rozepnuta. V tomto okruhu olej nemá zvýšený tlak. Druhý okruh vede k pístu, který stlačuje spojky. Tlak v tomto okruhu je regulován pomocí řídicího ventilu, který za určitého tlaku propouští olej do rezervoáru. Olej je mezi jednotlivé okruhy přerozdělován pomocí odstředivého ventilu. [2] [21]

Tlak v systému je tvořen šestipístým čerpadlem poháněným elektromotorem. Na toto čerpadlo je připevněn již zmiňovaný odstředivý ventil. Zvýšením otáček elektromotru se tento ventil otevře. [21]



Obrázek 16 Schéma hydrauliky Haldex spojky 5. generace [21]



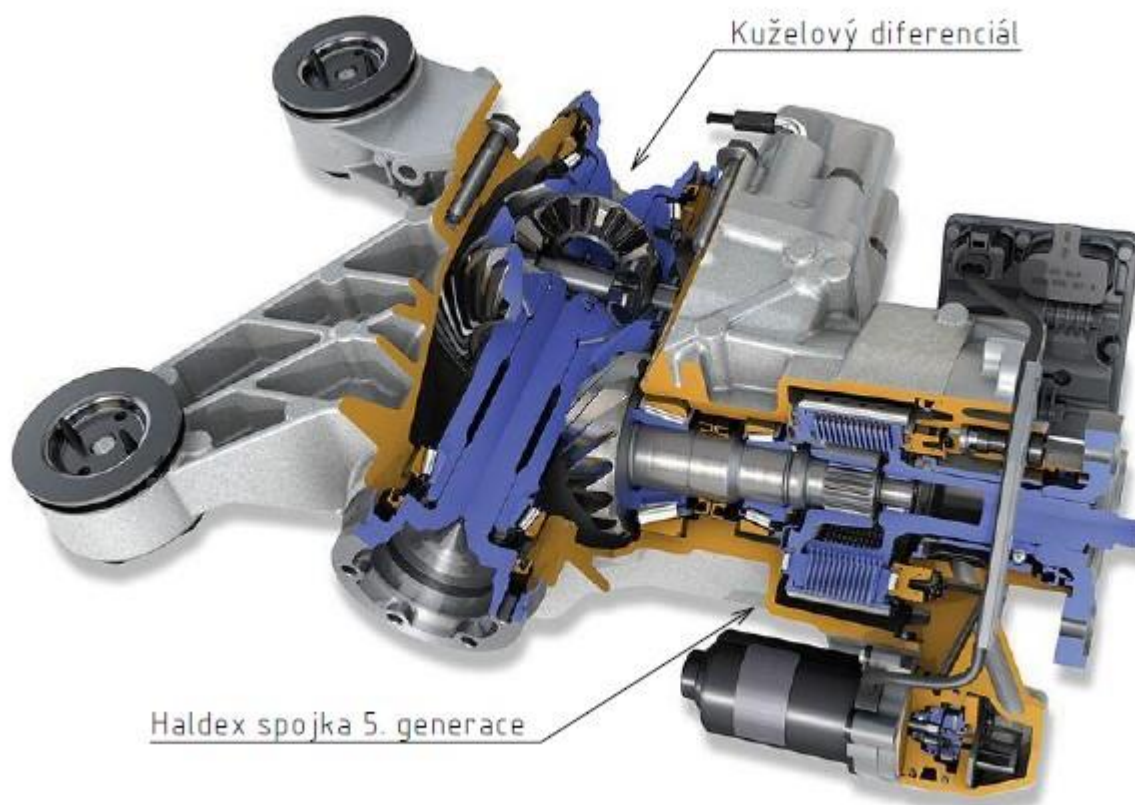
Obrázek 17 Haldex spojka 5. generace [21]

3.3.2 VOLKSWAGEN 4MOTION

Jedná se o označení pohonu všech kol automobilky Volkswagen. Volkswagen u většiny modelů používá pohon přední nápravy s připojitelnou zadní nápravou. Připojována je pomocí již zmiňované spojky Haldex. V současné době téměř všechny modely automobilek patřící pod tento koncern mají náhon na všechna kola řešený stejným způsobem. Obě nápravy přitom mají ve většině případech otevřený diferenciál. [22] [23]

Vozidla, které jsou touto technologií vybavena, jsou například Volkswagen Golf, Passat, Tiguan a další. Automobilka Škoda s modely Octavia, Superb, Kodiaq, Karoq, anebo Seat Leon, Ateca, či Tarraco.

Jiné řešení používá u modelů Amarok, nebo Touareg, které mají obě nápravy hnané stále. [23]



Obrázek 18 4MOTION Haldex spojka Volkswagen Golf [23]

3.3.3 BMW xDRIVE

HALDEX (PŘIPOJENÍ ZADNÍ NÁPRAVY)

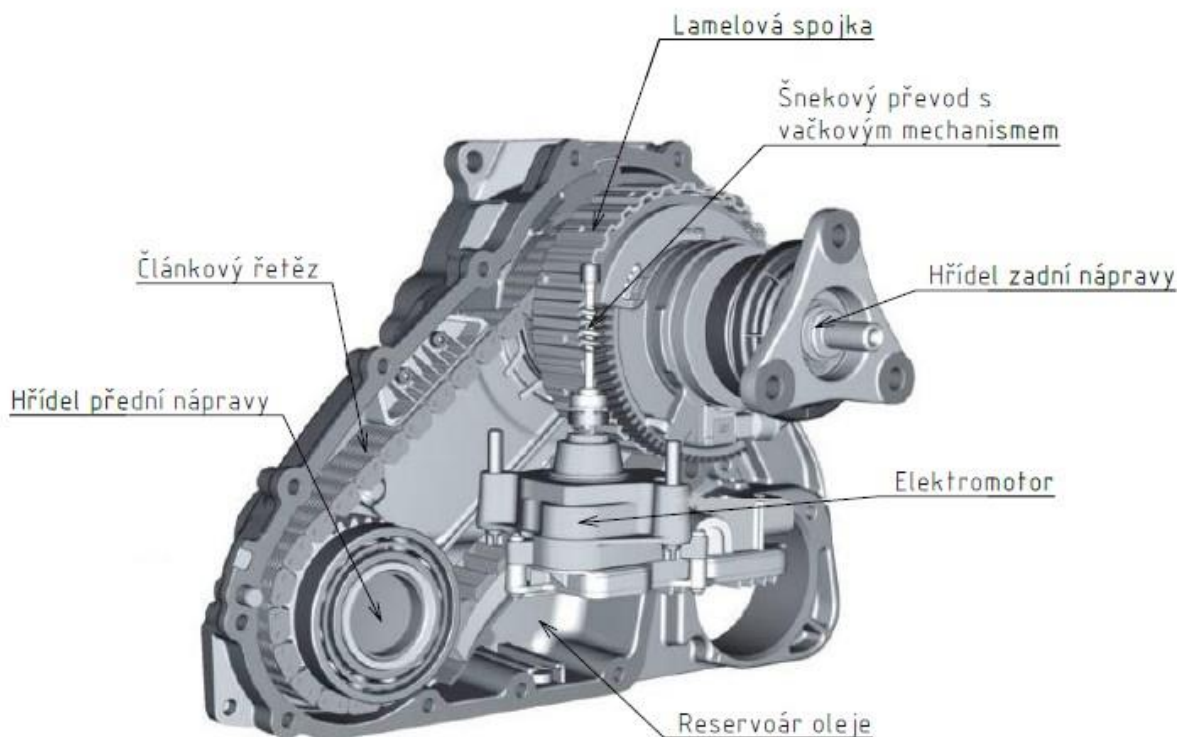
I BMW u svých levnějších modelů využívá Haldex spojku. Je to především kvůli její poměrně příznivé výrobní ceně, která je nižší, než u systémů využívající mezinápravovou rozvodovku. Haldex spojka je u BMW použita u modelů řady jedna a dva. [24]

PŘIPOJENÍ PŘEDNÍ NÁPRAVY

Dalším systémem, který BMW používá, je systém s využitím mezinápravové rozvodovky. Zadní náprava je kardanovou hřídelí pevně spojena s převodovkou, a v mezinápravové rozvodovce se nachází elektronicky ovládaná lamelová spojka, která po sepnutí připojí přední nápravu. Při použití tohoto systému je tedy primárně hnaná zadní náprava. Vůz má pak sportovnější charakter a větší tendenci k přetáčivosti, čímž je BMW pověstné. Vše ale záleží na nastavení celého systému. [24]

K sepnutí této spojky je, stejně jako u M-diferenciálu, využíván vačkový mechanismus, ovládaný šnekovým ozubením a elektromotorem. Tato spojka pak ke kardanové hřídeli připojí ocelový článkový řetěz, který pohání přední nápravu. Ten je při záběru velmi namáhaný, a aby nedocházelo k jeho velkému opotřebení, je provozován v oleji. Pokud je ale přední náprava odpojena, v oleji by docházelo ke tření. Proto systém automaticky sníží hladinu oleje kvůli snížení odporu. [25]

Tento systém je na výrobu mnohem nákladnější, než je spojka Haldex, a proto je využíván u dražších vozidel, která tato automobilka nabízí. Příkladem může být vůz BMW X4, X5 a další.

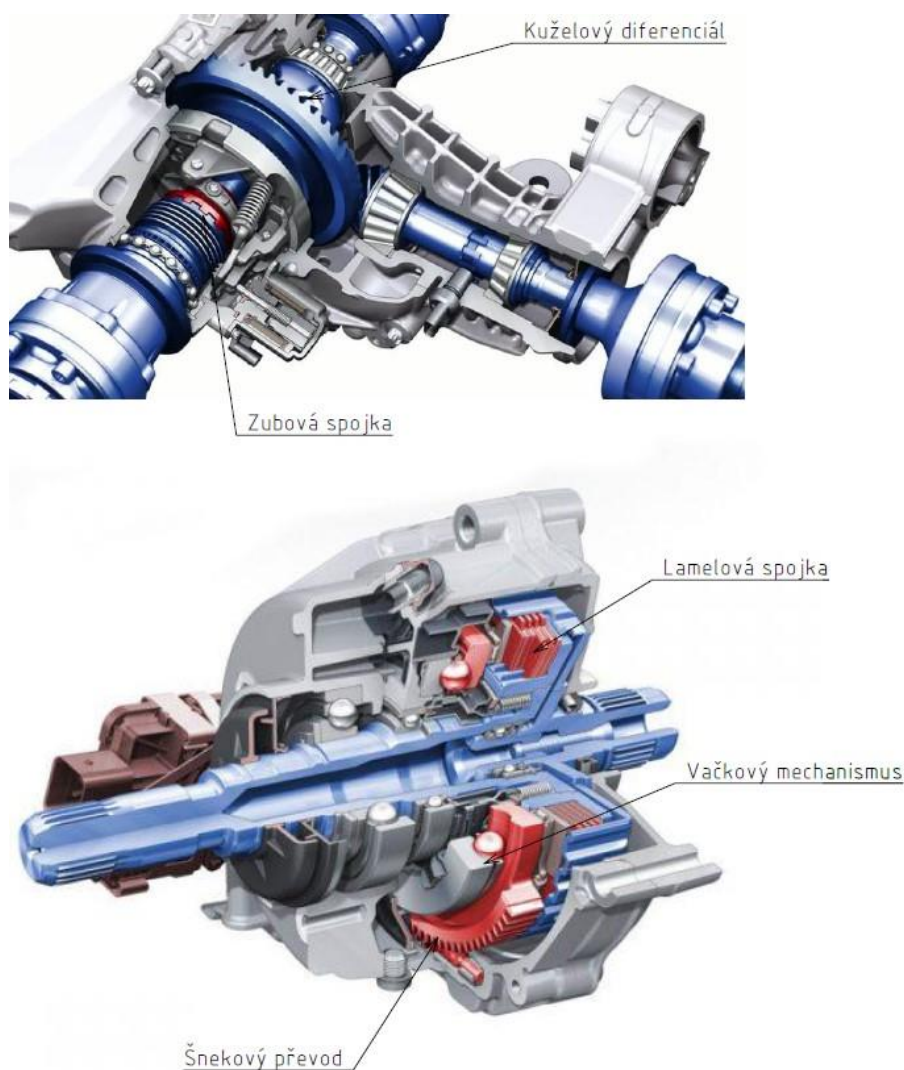


Obrázek 19 Popis mezinápravové rozvodovky BMW xDrive [39]

3.3.4 QUATTRO ULTRA

Audi při použití mezinápravové lamelové spojky celý systém oproti Volkswagenu či BMW ještě o stupeň vylepšilo. I při rozpojené spojce totiž vozy bez technologie Quattro ultra musí roztáčet kardanovou hřídel, přičemž dochází k energetickým ztrátám. Audi ale spojku umístilo mezi hřídel a převodovku. Díky tomu umožňuje odpojit celou zadní nápravu společně s hřídelí. Ta by tímto způsobem ale stejně musela být poháněna skrze zadní diferenciál. Audi proto u zadního diferenciálu použilo elektronicky řízenou zubovou spojku, která odpojí jedno z hnaných kol. Tím se začne celý mechanismus zadního kuželového diferenciálu protáčet, a klec diferenciálu společně s kardanovou hřídelí zůstane v klidu. [26]

V případě potřeby připojení zadní nápravy elektronika sepne zubovou a následně i mezinápravovou lamelovou spojku. Ta je spínaná stejně jako u BMW, tedy pomocí vačkového mechanismu poháněného šnekovým soukolím. Tento systém je použit například ve voze Audi A4 Allroad, či audi Q5. [26]



Obrázek 20 Popis systému Quattro ultra [26]

3.3.5 TECHNOLOGIE TWINSTER

Twinstar technologii proslavila zejména automobilka Ford, když ji použila u zadního diferenciálu vozu Ford Focus RS. [27]

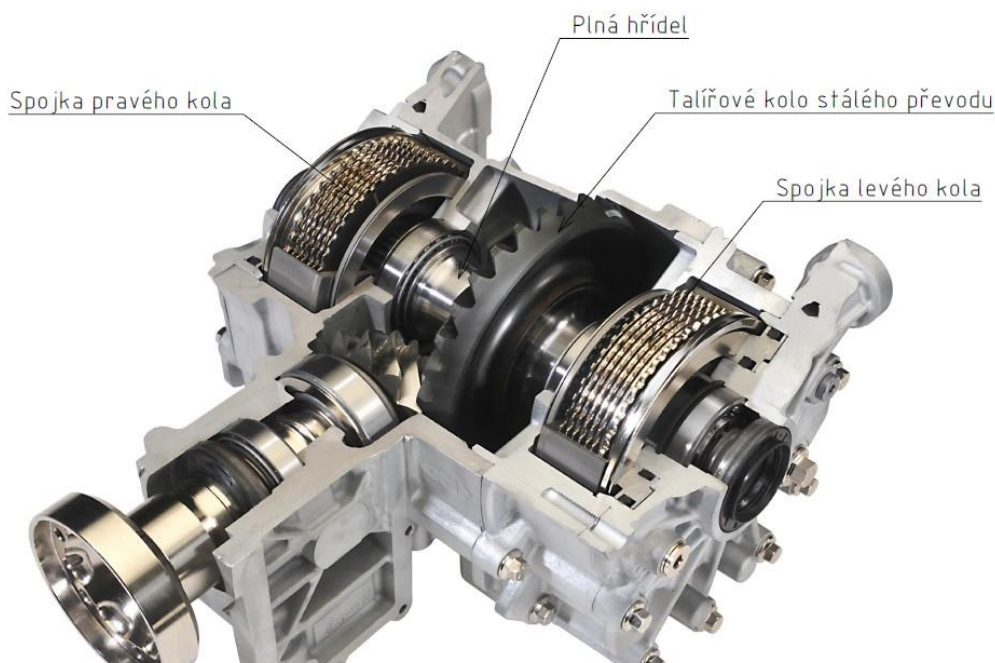
Jedná se o diferenciál, který jednotlivá kola nespojuje pomocí centrálních ozubených kol a satelitů. To znamená, že neobsahuje žádný otevřený diferenciál, jako tomu bylo v předešlých případech. Místo něj se nachází plná hřídel. [27]

Systém je vybaven dvěma lamelovými spojkami. Každá z nich má za úkol připojovat jedno ze zadních kol ke zmiňované hřídeli, která je na místě diferenciálu. Diference otáček jednotlivých kol při průjezdu zatáčkou je tedy regulována spínáním a prokluzem jednotlivých spojek. [11]

Tato technologie umožňuje chování vozidla se závěrkou diferenciálu. Plné sepnutí spojek automobilka nazvala Drift mód, při kterém jde většina točivého momentu na zadní nápravu, a jednotlivá kola jsou spojkami pevně spojeny. [11]

Pokud by se při plném sepnutí obou spojek otáčela kola zadní nápravy stejnou rychlostí jako kola přední nápravy, šlo by o rozdělení momentu 50:50 (%). Pro umožnění přenosu většího točivého momentu na zadní nápravu má větší převodový poměr než přední. Proto má tendenci se otáčet rychleji, a přenášet větší točivý moment. [11] [28]

Tato technologie je použita například i ve voze Opel Insignia nebo Range Rover Evoque. [27]



Obrázek 21 Zadní diferenciál technologie Twinstar [27]

3.4 SYSTÉM SE STÁLÝM POHONEM VŠECH KOL

Systémy, které mají poháněny obě hnané nápravy najednou, používají k přerozdělování momentu mezi jednotlivá kola nejčastěji tři technická řešení. Jedním z nich je využití viskozní spojky, druhým použití otevřeného diferenciálu, jehož svornost je řízena pomocí vícelamelové spojky, a posledním diferenciály samosvorné.

3.4.1 AUDI QUATTRO

Audi kromě technologie Quattro ultra, kterou jsem již zmiňoval, využívá ještě systém, ve kterém nápravy nejsou spojeny žádnou lamelovou spojkou, ale čistě mechanicky. Používá k tomu samosvorný diferenciál. Za normální situace je rozdělení momentu v poměru 40:60 (%). Tento poměr se ale díky již zmiňovanému diferenciálu může měnit, podle toho, která náprava má větší trakci. [29]

Tento diferenciál funguje jako planetové soukolí. Kolo s vnějším ozubením pohání přední nápravu a kolo s vnitřním ozubením pohání nápravu zadní. Mezi těmito ozubenými koly jsou satelity, které jsou volně uloženy v kleci diferenciálu. Síla ze satelitů je na kola rozdělována asymetricky kvůli rozdílným průměrům těchto kol. Tento typ diferenciálu je známý také jako Torsen typ C. [2] [29]

Pokud jedna z náprav ztratí trakci, v ozubení vznikne axiální síla, která stlačí lamelové spojky. Větší moment je tak přenesen na nápravu s vyšší trakcí.

Systém sám o sobě je čistě mechanický. Neobsahuje tedy žádné elektronicky ovládané prvky. Aktivním se stává díky použití zadního diferenciálu Sport diferenciál, a díky elektronickému systému přibrzdování jednotlivých kol. [29]

Tento systém automobilka využívá u prémiových modelů, kde je předností přenést velký výkon na vozovku, a dbá se na dobré jízdní vlastnosti. Není na provoz příliš ekonomický, ale u automobilů této cenové kategorie a tohoto stylu si zákazník kvůli úspoře paliva automobil nepořizuje. Můžeme ho najít například ve sportovním voze Audi RS 6, nebo Audi RS7. Nachází se ale i v dalších vozech Audi s podélně uloženým motorem, například Audi A8, Q7, nebo Q8.



Obrázek 22 Audi Self-locking center differential: popis součástí [29]

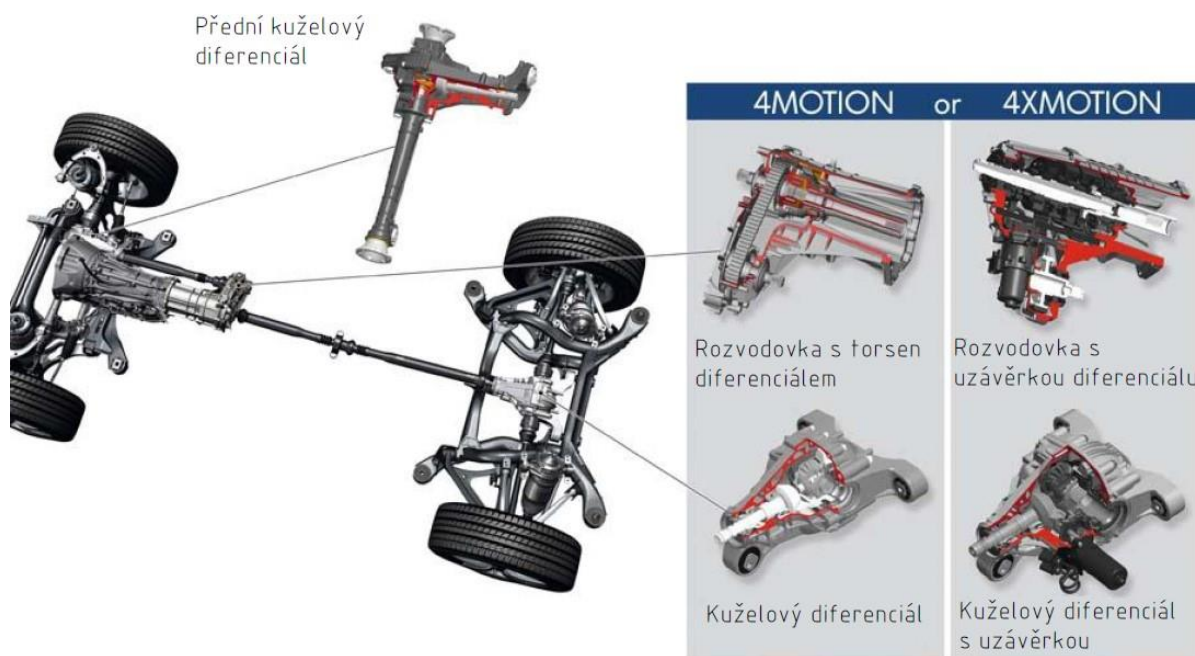
3.4.2 4MOTION

Jak jsem již zmiňoval, i automobilka Volkswagen má modely, které mají se stálý pohon všech kol.

Používá pro to stejně jako Audi samosvorný diferenciál Torsen v mezinápravové rozvodovce. V minulosti Volkswagen používal systém s označením 4XMOTION, který měl v redukční převodovce, jež má za úkol stejně jako stálý převod zvýšit točivý moment dodávaný z převodovky. [23]

Systémem s mezinápravovým diferenciálem torsen, který moment mezi přední a zadní nápravu dělí nesymetricky, je použit u modelu Touareg a Amarok, které jsou určeny jak pro jízdu v terénu, tak na vozovce. [22] [23]

Stejně jako Audi kontroluje trakci a upravuje rozdělování momentu mezi kola elektronické systémy přibrzdování kol s označením EDS a XDS. [22]



Obrázek 23 Rozdíly mezi pohony 4MOTION a 4XMOTION [23]

3.5 SYSTÉMY S ELEKTROMOTOREM POHÁNĚNOU NÁPRAVOU

V současné době se začínají používat systémy zcela odlišné koncepce. S postupným přechodem automobilového průmyslu z motorů spalovacích na elektromotory, se naskytly nové možnosti přerozdělování momentu mezi kola. U těchto vozidel je využíván pohon pouze elektromotory, nebo součinností elektromotoru a motoru spalovacího. Tento druh pohonu se nazývá hybridní.

Je u nich možné každou z náprav pohánět nezávisle, a plynule regulovat výkon na ni přenášený. Záleží pak čistě na nastavení systému, kdy a která náprava bude poháněna.

V některých systémech může být dokonce použito elektromotorů několik, a pohánět tak i jednotlivá kola individuálně. Tím lze dosáhnout ideálního přenosu sil na vozovku. [30]

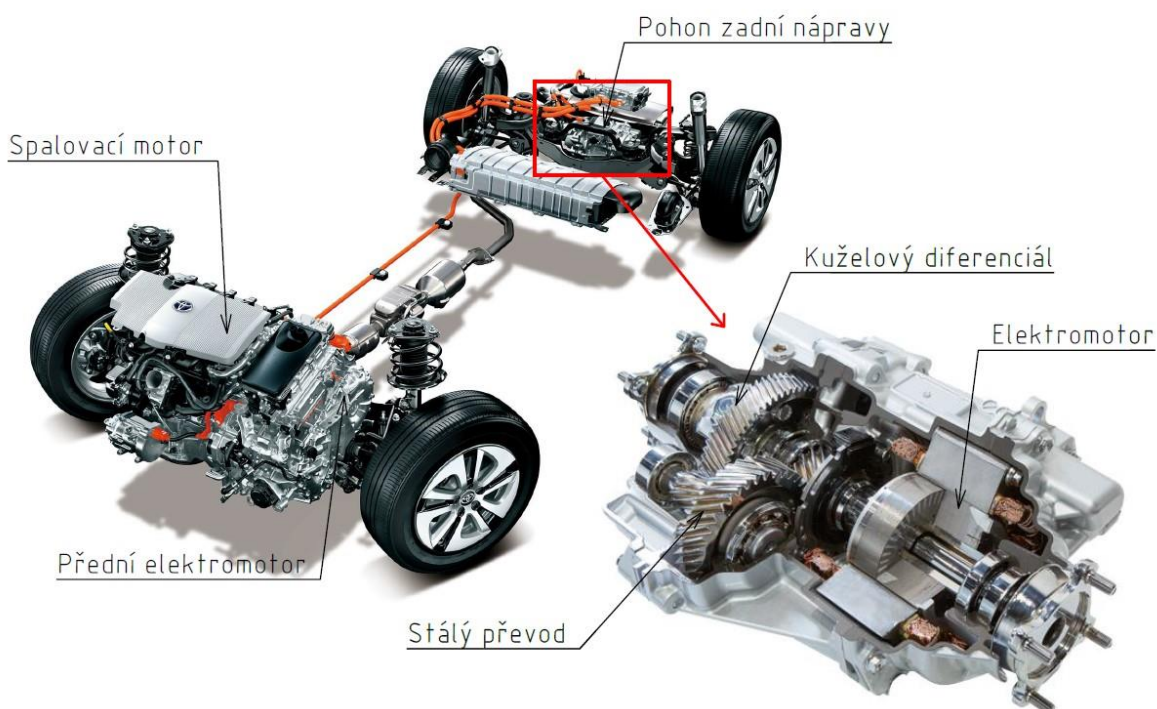
Použitím tohoto systému odpadá potřeba použití kardanové hřídele, která by obě nápravy spojovala, čímž vznikne místo pro umístění baterií. Tento systém má nejenom snížené energetické ztráty oproti ostatním řešením, ale může dokonce energii šetřit. Elektromotor může být použit i jako generátor, čímž brzdí celé vozidlo. Tato energie by jinak byla nevratně ztracena v podobě tepla v brzdových kotoučích. [31]

3.5.1 TOYOTA E-FOUR

Toto řešení Japonská automobilka vyvinula pro své automobily s hybridním pohonem. Využívá v něm standartní spalovací motor doplněný elektromotorem, které pohání přední nápravu, a druhý motor, který pohání nápravu zadní. U automobilů používá otevřené kuželové diferenciály, a k přenosu točivého momentu mezi koly jedné nápravy používá elektronický systém přibrzdování kol. [31]

Při nízkých rychlostech jsou pro pohon vozidla využívány pouze zmiňované elektromotory. Tím je snížena hlučnost, a také nejsou produkovány žádné emise, které by znečišťovaly ovzduší měst. [31]

Použití elektromotorů velmi pomáhá také při rozjezdu a akceleraci vozidla, kde u vozidel se spalovacím motorem dochází k velké spotřebě paliva. Tento systém je využit například u modelu 2021 Toyota Yaris Cross. [31]



Obrázek 24 Popis pohonného ústrojí Toyota E-four [40]

3.5.2 AUDI E-QUATTRO

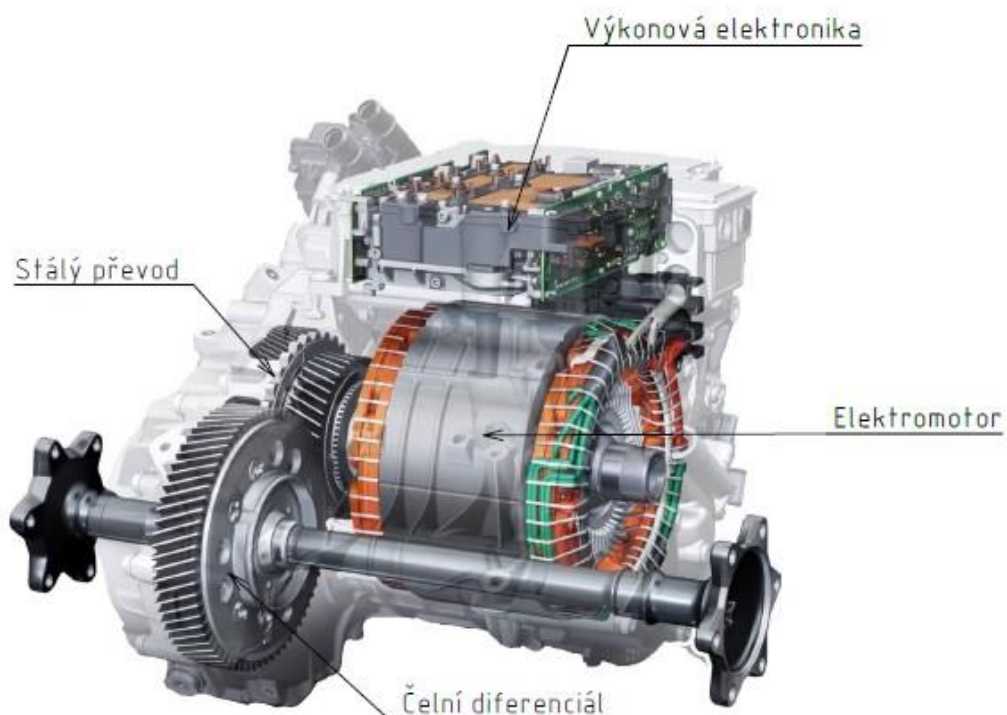
V tomto případě se již jedná o systém pohonu všech kol čistě elektricky poháněného automobilu. Automobilka Audi jej vyvinula pro svůj první elektromobil nesoucí název Audi e-tron. [30]

Pro pohon jsou u základního modelu použity dva elektromotory. Jeden k pohonu přední, a druhý k pohonu zadní nápravy. [32] Tyto motory jsou poháněny lithiovou baterií, která je umístěna v podlaze vozu. Toto umístění je velice strategické, protože vzhledem k váze baterie se těžiště celého vozu nachází velmi nízko. To snižuje riziko převrácení během nehody, a zároveň velmi pozitivně ovlivňuje jízdní vlastnosti vozidla.

Točivý moment elektromotoru je zvýšen pomocí stálého převodu, který je planetového typu. K rozdělení momentu mezi kola Audi používá otevřený čelní diferenciál, který je rovněž jako v případě Toyoty doplněný systémem přibrzdování kol. [30] [32]

Audi tento model prodává i ve variantě se třemi motory. Jeden motor pro pohon přední nápravy, a dva motory pro pohon zadních kol. Jedná se o model Audi e-tron S.

Použitím dvou motorů pro pohon zadní nápravy Audi eliminovala nutnost použití diferenciálu, protože může každé z kol pohánět zvlášť. Využívá toho hlavně v zatáčkách, kde velmi jednoduše může přenést větší výkon na vnější kolo, a lépe tak zatočit. Eliminuje tím nevýhodu přibrzdování kol, o které jsem se již zmiňoval.



Obrázek 25 Popis zadní nápravy Audi e-tron s použitím jednoho elektromotoru [30]

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvořit přehled v současnosti používaných automobilových diferenciálů. Kvůli pochopení problematiky jsem v první části práce přiblížil funkci převodového ústrojí vozidla, jehož jsou diferenciály součástí.

V druhé části práce jsem vysvětlil funkci diferenciálu a důvod nutnosti jeho použití u osobního automobilu. Věnoval jsem se také tomu, jaké vlastnosti by měl ideální diferenciál mít. Jelikož se ale ideální vlastnosti navzájem vylučují, používají se různá konstrukční řešení, které tyto vlastnosti kombinují podle toho, co od daného typu vozidla očekáváme.

Následně jsem sepsal nejpoužívanější řešení, a vysvětlil jejich princip funkce. Nejprve jsem se věnoval konstrukčně nejjednodušším řešením, kterými jsou diferenciály otevřené. Tyto diferenciály jsou pro svoji jednoduchost a vysokou účinnost velmi často používané. Otevřeným diferenciálům následovaly diferenciály samosvorné. Ty jsou oproti otevřeným méně účinné a konstrukčně složitější. Používají se proto zejména u závodních vozidel, díky schopnosti nesymetrického přenosu sil mezi kola a předvídatelnosti jeho chování.

V třetí části práce jsem se zaměřil na aktivní systémy diferenciálů, které jsou v současné době nejrozšířenější. Ať už systémem přibrzdování kol, nebo elektronicky řízeným diferenciálem, je v současné době vybaven téměř každý nový model. Je tomu tak zejména pro jejich univerzálnost použití. Při běžném provozu totiž pracují s účinností otevřeného diferenciálu, čímž zajistí nízké energetické ztráty, a v případě potřeby nesymetrického dělení momentu zvýší svou svornost. Aktivní systémy a diferenciály mají schopnost zvýšit točivý moment libovolného kola, a pomoci tak se stabilizací a zatáčením vozidla. Tím tyto systémy přispívají k aktivní bezpečnosti vozidla. Jejich nevýhodou je ale nepředvídatelnost chování, vyšší cena a hmotnost.

Sepsáním vyhledaných informací o systémech používaných vybranými automobilkami jsem vysvětlil jejich funkci. Bohužel jsem nebyl schopen sepsat informace o všech používaných systémech kvůli jejich nedostatku. Vyhledávání informací bylo největším a časově nejnáročnějším problémem, kterému jsem při psaní této práce čelil. Ve většině případů automobilky o vozech píšou, že mají pohon jedné nápravy, všech kol, nebo že vozy disponují funkcí Torque vectoring. Jakým způsobem je tato funkce zajištěna ale již výrobci neuvádí. Nejvíce informací jsem našel o řešení automobilky Audi, která se se svým pohonem všech kol Quattro proslavila. Audi tyto informace zákazníkům sděluje a zakládá na tom svoji reklamu. Pro získání více informací by nejspíše bylo nutné jednotlivé automobilky oslovit a o tyto informace je požádat.

V závěru práce jsem se věnoval zcela jinému odvětví pohonných ústrojí, a tím je pohon elektromotory. Nyní toto odvětví díky rozvoji elektromobility prochází rychlým vývojem, a použitím tohoto řešení se převodové ústrojí vozu velmi zjednodušuje. Motor je možné umístit přímo nad nápravu, čímž odpadá nutnost dělení momentu mezi jednotlivé nápravy. Elektronika jednoduše zvýší výkon daného motoru a náprava tak přenáší větší moment. Díky tomu dochází k nižším energetickým ztrátám, a vozidlo je tak úspornější.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ, Jiří ČUPERA, Pavel SEDLÁK, Jan JETMAR a Adam POLCAR. *Automobily*. 5. vydání. Brno: Avid, spol. s r.o., 2018. ISBN 978-80-87143-32-2.
- [2] ACHTENOVÁ, Gabriela a Vlastislav TŮMA. *Vozidla s pohonem všech kol*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-807-3002-367.
- [3] LAŽANSKÝ, Milan. Jak funguje spojka?: A čím si ji někteří zbytečně ničí? Napoví názorná animace. In: *Autorevue.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/jak-funguje-spojka-a-cim-si-ji-nekteri-zbytecne-nici-napovi-nazorna-animace#:~:text=Nach%C3%A1z%C3%AD%20se%20mezi%20v%C3%BDstupem%20motoru,nav%C3%ADc%20je%C5%A1t%C4%9B%20tlum%C3%AD%20torzn%C3%AD%20kmity>.
- [4] ČECH, Jiří. Převodná ústrojí III. In: *Skoda-techweb.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.skoda-techweb.cz/clanek.php?id=437>
- [5] HURYCH, Miloš. Rovodovky. In: *Skola-auto.cz* [online]. Ústí nad Orlicí [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2019/09/Hurych-Rozvodovky.pdf>
- [6] PALÁT, Hynek. Čelní soukolí se šikmým ozubením. In: *Sspu-opava.cz* [online]. Opava, 2011 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablon/SPS_III/VY_32_INOVACE_C-08-08.pdf
- [7] ZAVADIL, Roman. *Diferenciály automobilů*. Brno, 2020, 51 s. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124578>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně - Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc.
- [8] Differential: (mechanical device). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2021-05-17].
- [9] DUSIL, Tomáš. Technika: Samosvorné diferenciály: Stejný účel, různý princip. In: *Auto.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/technika-samosvorne-diferencialy-stejny-ucel-ruzny-princip-92755>
- [10] Torsen. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Torsen>

- [11] DUSIL, Tomáš. Samosvorné diferenciály: Do hry vstupuje elektronika (2.část). In: *Auto.cz* [online]. 2016 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/samosvorne-diferencialy-do-hry-vstupuje-elektronika-2-cast-92939>
- [12] LAŽANSKÝ, Milan. Zkratky automobilových systémů: Zkratky automobilových systémů: Znáte jejich význam? Často je stejný. In: *Autorevue.cz* [online]. 2018 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/zkratky-automobilovych-systemu-vyznam>
- [13] XDS+. In: *Autocentrum.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.autocentrum.cz/clanky/xds-/>
- [14] DUSIL, Tomáš. Technika: VAQ – Haldex mezi předními koly. In: *Auto.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/technika-vaq-haldex-mezi-prednimi-koly-83999>
- [15] LEON OC. SEAT Leon CUPRA VAQ Technology Front Differential Lock. In: *Youtube* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=xXD89Wrnx20>
- [16] DITTRICH, Lukáš. Nový Ford Focus ST dostal motor z Mustangu a diferenciál ze Škody Octavia RS 245. In: *Autobible.euro.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/novy-ford-focus-st-dostal-motor-z-mustangu-a-diferencial-ze-skody-octavia-rs-245/>
- [17] The all-new i30N: performance. *Hyundai.com* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.hyundai.com/worldwide/en/cars/i30n/highlights>
- [18] *The active M differential* [online]. [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://www.bmw-m.com/en/topics/magazine-article-pool/5-facts-about-the-active-m-differential.html>
- [19] Sport differential. *Audi-technology-portal.de* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://www.audi-technology-portal.de/en/drivetrain/quattro_en/sport-differential#:~:text=The%20sport%20differential%20is%20a,faster%20than%20the%20drive%20shaft.
- [20] VOKÁČ, Luděk. Haldex je hodně chytrý pohon všech kol. Má ho octavia i Bugatti Veyron. In: *Idnes.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/jak-funguje-haldex-pohon-vsech-kol.A120510_012556_automoto_vok
- [21] AUTOREVUECZ. Haldex 5. Generation - How It Works. In: *Youtube* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=CDRVtjMPK9Q>

- [22] 4MOTION: all-wheel-drive-system. *Volkswagen-newsroom.com* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/4motion-all-wheel-drive-system-3672>
- [23] ZELINKA, Jiří. 4Motion: jak funguje a jaké jsou druhy pohonu všech kol od VW. In: *Autohled.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.autohled.cz/magazin/4motion-ndash-jak-funguje-a-jake-jsou-druhy-pohonu-vsech-kol-od-vw/1487>
- [24] JÁNSKÝ, Martin. Pohon všech kol přináší jistotu, ale neobírá ani o zábavu: Pohon všech kol přináší jistotu, ale neobírá ani o zábavu. In: *Garaz.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/bmw-xdrive-tour-4x4-21003288>
- [25] DPCCARS. BMW xDrive All Wheel Drive System Explained. In: *Youtube* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=5wYZe6lZ9ec&t=172s>
- [26] Audi Q5: Quattro with ultra-technology. *Audi-technology-portal.de* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://www.audi-technology-portal.de/en/drivetrain/quattro_en/audi-q5-quattro-ultra-technology
- [27] VAVERKA, Lukáš. Není čtyřkolka jako 4×4. Výrobci používají šest různých koncepcí pohonu všech kol. In: *Autobible.euro.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/pohon-4x4-princip-druhy-vyhody/>
- [28] WINDING ROAD MAGAZINE. Ford Focus RS RDU Explained - WR TV Tech Short. In: *Youtube* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=qkxSmlu7dM>
- [29] Self locking center differential. *Audi-technology-portal.de* [online]. [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: https://www.audi-technology-portal.de/en/drivetrain/quattro_en/self-locking-center-differential
- [30] KONDOR. How It Works Audi e-tron engine & gearbox animation, e-tron powertrain animation. In: *Youtube* [online]. [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=qTf-rHQjkU>
- [31] TOYOTA GLOBAL. *TOYOTA YARIS CROSS / AWD (E-Four) / Toyota* [online]. In: . [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=e0rBVi8u6Yc>
- [32] *Audi e-tron: e-quattro* [online]. [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: https://www.audi-technology-portal.de/en/drivetrain/quattro_en/audi-e-tron-e-quattro

- [33] F.A.Q.: vše, co potřebujete vědět o KIT4P. In: *Motofocus.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://motofocus.cz/technika/48084,f-a-q-vse-co-potrebuje-vedet-o-kit4p>
- [34] Křivka výkonu motoru 2.0 FSI. In: *Moje.auto.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://moje.auto.cz/?sekce=foto&im_id=im_5186cb27dde8f&ga_id=GA_517c4d00e3c52
- [35] 2.R a 3.R AUTOMOBILY: opakování rozvodovka a diferenciál. In: *Stedniskolaoselce.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.stedniskolaoselce.cz/data/download/file/okal/2.R%20a%203.R%20AUTO%20MOBILY%20-%20opakov%C3%A1n%C3%AD%20rozvodovka%20a%20diferenci%C3%A1l.pdf>
- [36] STIBOROVÁ, Dana. *Osobní automobily s pohonem všech kol*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně - Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
- [37] Legacy: proactive and protective. *Subaru-oman.com* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: http://subaru-oman.com/legacy_safety.html
- [38] BABORSKÝ, Jiří. Škoda Octavia RS 245: Zraje a zraje. In: *Svetmotoru.auto.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://svetmotoru.auto.cz/galerie/technika/8878/skoda-octavia-rs-245-zraje-a-zraje?foto=4>
- [39] MAN, Hed. [online]. In: . [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.xbimmers.com/forums/attachment.php?s=66ad0e132285e8fd2b14b3e954d6326f&attachmentid=2164767&d=1571773849>
- [40] E-Four electronic four wheel drive system. In: *Global.toyota/en/* [online]. [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://global.toyota/en/download/25945258/>
- [41] Torsen differential. *Audi-technology-portal.de* [online]. [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: https://www.audi-technology-portal.de/en/drivetrain/quattro_en/torsen-differential

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ABS	Anti-lock Brake System
ATB	Automatic Torque Biasing
ECU	Engine Control Unit
EDS	Elektronische Differential Sperre
ESP	Electronic Stability Program
LSD	Limited slip differential
VAQ	Vorder Achs Quersperre
XDS	elektronische Quer-Sperrdifferenzial

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

r_d	[m]	Dynamický poloměr kola
F_l	[N]	Hnací obvodová síla levého kola
F_p	[N]	Hnací obvodová síla pravého kola
M_{lmax}	[N·m]	Maximální moment, který může přenést levé kolo
M_{pmax}	[N·m]	Maximální moment, který může přenést pravé kolo
n_l	[s ⁻¹]	Otáčky levého kola
n_p	[s ⁻¹]	Otáčky pravého kola
i	[-]	Převodový poměr
μ_l	[-]	Součinitel přilnavosti levého kola
μ_p	[-]	Součinitel přilnavosti pravého kola
ω_l	[rad · s ⁻¹]	Úhlová rychlost levého kola
ω_p	[rad · s ⁻¹]	Úhlová rychlost pravého kola
M_1	[N·m]	Vstupní moment převodu
M_2	[N·m]	Výstupní moment převodu